JAHRGANG 68. 1918. HEFT 4 BIS 6.

Das Dienstgebäude der Brandkasse der Provinz Westpreußen in Danzig.

Architekt: Geheimer Regierungsrat Professor Carsten.

(Mit Abbildungen auf Blatt 7 im Atlas.)

Kurz vor Ausbruch des Krieges wurde für die „Westpreußische Feuersozietät“, wie dieses von Friedrich dem Großen gegründete Institut bis vor Jahresfrist hieß, ein Neubau begonnen, der im wesentlichen bis zum Herbst 1915 fertiggestellt werden konnte. Er ist, wie aus dem Lageplan (Abb. 5 Bl. 7) hervorgeht, nur ein Teil der Gesamtanlage, die sich später auf dem an drei Seiten von Straßenzügen umsäumten Baublock erheben soll. Nach Südosten zu begrenzt der schräg einschneidende Radaunebach den an dem alten Wallgelände der Stadt gelegenen und von dieser erworbenen Bauplatz.



Abb. 1. Ansicht am Elisabethwall.

Ein Fußgängerweg wird später auch von dieser Seite her die Zugänglichkeit des Grundstücks ermöglichen. Leider mußte der Neugestaltung der älteste Renaissancebau Danzigs, das Kinderhaus, zum Opfer fallen, dessen Giebel die Jahreszahl 1549 trägt. Dieser, sowie das mit Ornament- und Figurenschmuck versehene Portal aus dem Jahre 1548 sind einer bereits ausgeführten, aber nicht vom Verfasser herrührenden Erweiterung des Hauptbaues eingefügt.[1])

Der hohe Wert des Geländes machte seine äußerste Ausnutzung zur unabweisbaren Forderung. Deswegen mußte von einer kräftigen Gliederung der Baumasse durch Vor- und Rücklagen an der Hauptstraßenfront, dem Elisabethwall, abgesehen werden (nur die schwache, einbuchtende Krümmung der Bauflucht ermöglichte im Erdgeschoß einen Vorsprung für die Betonung des Haupteinganges), und auch die zulässige Bauhöhe war voll auszunutzen. Diese Grundbedingungen waren maßgebend für die Gestaltung von Grundriß und Aufbau. Am Elisabethwall ergab sich ein geschlossener Baukörper von 57,5 m Länge, rd. 20 m Höhe und einer durch zweckmäßige Wahl von Raumbreite und Flurmaß bedingten Tiefe von 16,4 m.

1) Näheres über das Kinderhaus siehe: 14. Bericht der Denkmalpflege in der Provinz Westpreußen im Jahre 1916 vom Provinzialkonservator Bernh. Schmid.

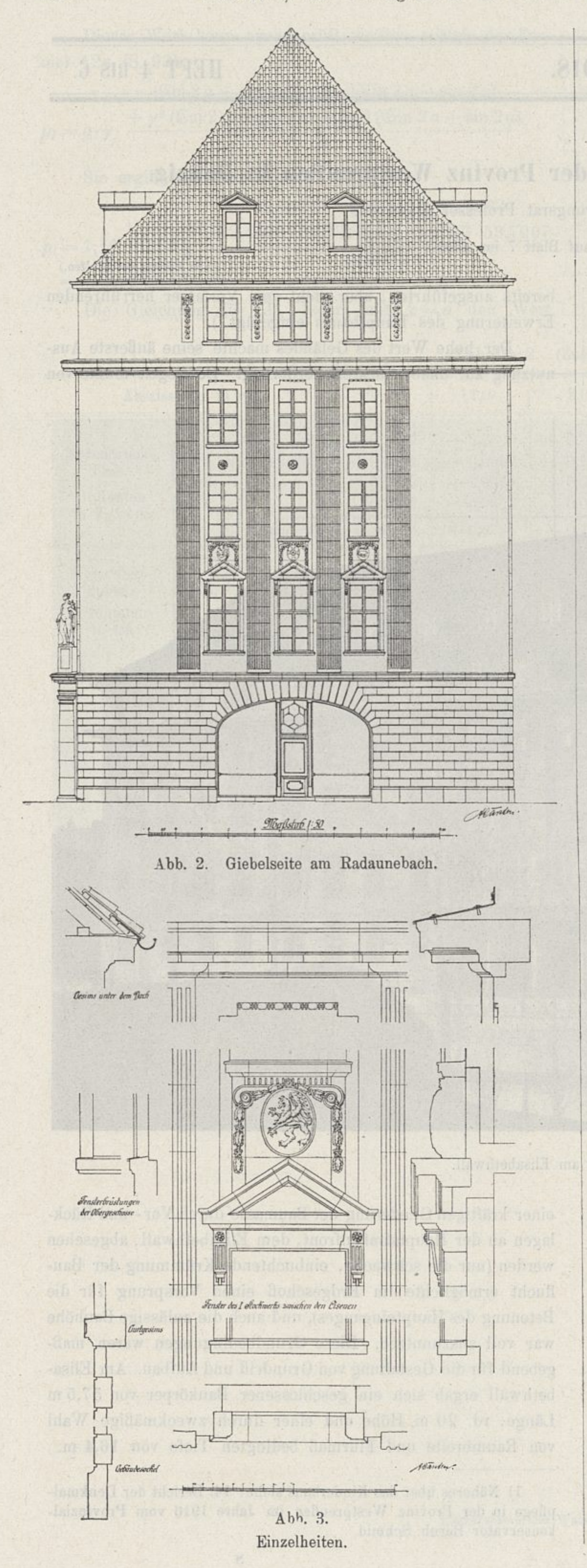


Abb. 2. Giebelseite am Radaunebach.

Abb. 3. Einzelheiten.

Dem Architekten war es darum zu tun, im Aufbau klar und bestimmt die Einheitlichkeit und Geschlossenheit der Baumasse zum Ausdruck zu bringen. Bedenken, daß der Neubau aus seiner Umgebung herausfallen würde, mußten zurückgestellt werden, was um so leichter war, als es sich in der Nachbarschaft um neuzeitliche Wohnhausbauten von bekannter Unruhe und ohne höheren künstlerischen Wert handelte. Auch die in der Nähe befindlichen Gebäude des General-Kommandos und des Hauptbahnhofes durften mit ihren Backsteinansichten von keinem Einfluß auf die architektonische Ausgestaltung des Neubaues sein. Vielmehr mußte es dem Architekten darauf ankommen, einen Weg bahnen zu helfen, der bei weiterem Fortschreiten der Bebauung des Wallgeländes oder bei Ersatz des bereits Bestehenden durch Neubauten weiter verfolgt werden konnte, um die sich beim Betreten vom Bahnhof aus zunächst darbietenden Straßenbilder zu ruhigeren und darum erfreulicheren zu gestalten. Den Anfang dazu machte das unlängst fertiggestellte Dienstgebäude der Königlichen Eisenbahn-Direktion. Hätte es sich um einen Neubau gleicher Ausdehnung wie der hier beschriebene im Stadtinnern gehandelt, so würde man mit Recht Bedenken getragen haben, den dort befindlichen schmalen Giebelhäusern einen ungeteilten, langgestreckten Baukörper einzugliedern. Aber am äußeren Gürtel der Stadt, wo bei veränderter Bodenaufteilung und anders geartetem Bauprogramm neue Aufgaben zu lösen sind, wäre es verkehrt gewesen, das Gepräge altdanziger Bauweise der Neuschöpfung aufzupfropfen.

Für ein Dienstgebäude mit seinen zahlreichen, im wesentlichen gleichartigen Räumen erschien eine einfache Gestaltung der Ansichten geboten. Von reicher architektonischer Durchbildung ist daher abgesehen worden. Ein in der Haupt-

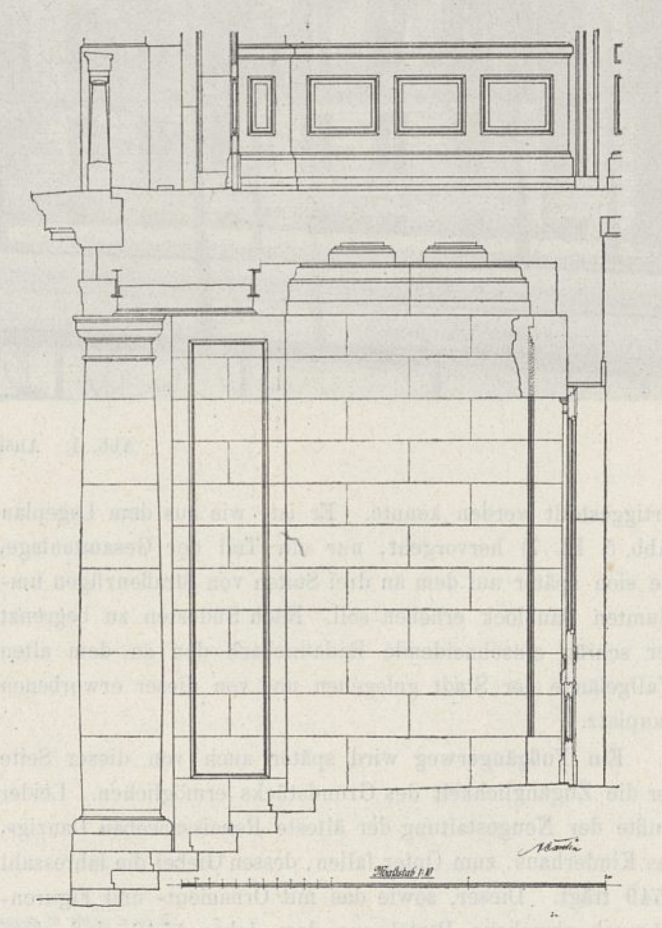


Abb. 4. Querschnitt durch die Eingangshalle.

ansicht dreimal auftretendes und an den Seitenansichten sich je einmal wiederholendes Architekturmotiv, das drei Obergeschosse durch flache, kannellierte Lisenen zusammenfaßt, gliedert die Außenseiten. Selbst der größte Raum des Gebäudes, der im ersten Stock befindliche Sitzungssaal, hat sich ohne äußere Betonung dem Ganzen einpassen müssen (Text-Abb. 1, 2, 8 und Abb. 1 Bl. 7). Allein der Haupteingang ist durch eine Säulenstellung besonders gekennzeichnet, die einen figurengeschmückten, vom Sitzungssaal aus zu betretenden Balkon trägt. In der Mitte seiner Brüstung ist der auf die Gründungszeit verweisende fliegende preußische Adler angebracht, und auf dem Architrav des Gebälks steht, in stumpfem Goldmosaik ausgeführt, die Gebäudeinschrift. Die hinter den Säulen in den Baukörper eingeschnittene Vorhalle unterstützt mit ihrer Schattenwirkung die Absicht, diese Stelle des Gebäudes herauszuheben (Text-Abb. 4, 5 u. 8). Zwischen den Lisenen haben die Fenster des ersten Stocks Umrahmung und Verdachung erhalten; einen weiteren Schmuck bilden hier die in Stein gehauenen Wappen westpreußischer Städte in den Brüstungen der Fenster des zweiten Obergeschosses (Text-Abb. 3). Im übrigen sind sämtliche Fenster glatt in die Mauer eingeschnitten. Ein weitausladendes Hauptgesims bildet über dem dritten Obergeschoß eine kräftige wagerechte Teilung der Baumasse. Es bestand die Absicht, mit diesem Gesims die Bauteile des gesamten Baublocks zu umziehen und ihn auf diese Weise zu einer monumentalen Einheit zu gestalten. Über dem vierten Obergeschoß, das nur an dem breiten Elisabethwall möglich war, entwickelt sich das mit Mönch- und Nonnensteinen gedeckte hohe Dach (Text-Abb. 1). Seine großen Flächen sind nur im unteren Teil von Dachgaupen durchsetzt, deren Anordnung unabhängig von der Fensterteilung getroffen ist. Eine hohe, adlergekrönte Fahnenstange unterbricht die Firstlinie in der Gebäudemitte.

Im Erdgeschoß sind die Straßenansichten mit Quadern aus Muschelkalkstein verkleidet. Derselbe Stein hat auch für sämtliche Architekturteile sowie für den figürlichen und den sparsam verteilten ornamentalen Schmuck Verwendung gefunden. Die Modelle zu den Bildhauerarbeiten im Äußeren wie auch im Inneren des Gebäudes stammen vom Danziger Bildhauer Böker; an den Portalfiguren war außerdem der Bildhauer Petri aus Berlin beteiligt. Die zwei weiblichen mittleren Standbilder verkörpern „Gewerbe“ und „Industrie“, die außenseitigen männlichen den „Handel“ und die im Hinblick auf die ernste Entstehungszeit gewählte „Wehrkraft“. (Text-Abb. 8.) Die geputzten Wandflächen sollen später einen grünlich-grauen, dem Feldgrau ähnlichen Anstrich erhalten, der mit dem inzwischen schon patinierten Werkstein, den weiß gestrichenen Fensterrahmen und -teilungen sowie mit dem roten Dach eine gute farbige Gesamtwirkung des Gebäudes zu geben verspricht. Bei der Hofansicht mußte der Kostenschonung wegen die Verwendung von Werkstein unterbleiben. Der Architekt hatte jedoch auch hier bei dem sich in einfacher Weise wiederholenden Motiv der Straßenansichten ein Abheben des Architekturgerüstes von den Wandflächen durch Farbgebung geplant.

Die Aufteilung aller Stockwerke ist durch einen vom Haupttreppenhaus in der Mitte des Gebäudes rechts und links abzweigenden Mittelflur bedingt, von dem aus die einzelnen Räume zugänglich sind (Abb. 3 u. 4 Bl. 7). Das Kopflicht dieser Flure, unter Zuhilfenahme von Oberlichtern in den Türen der Räume, genügt durchaus für ihre Erhellung. Zu dieser trägt in der linken Gebäudehälfte ein Nebentreppen-

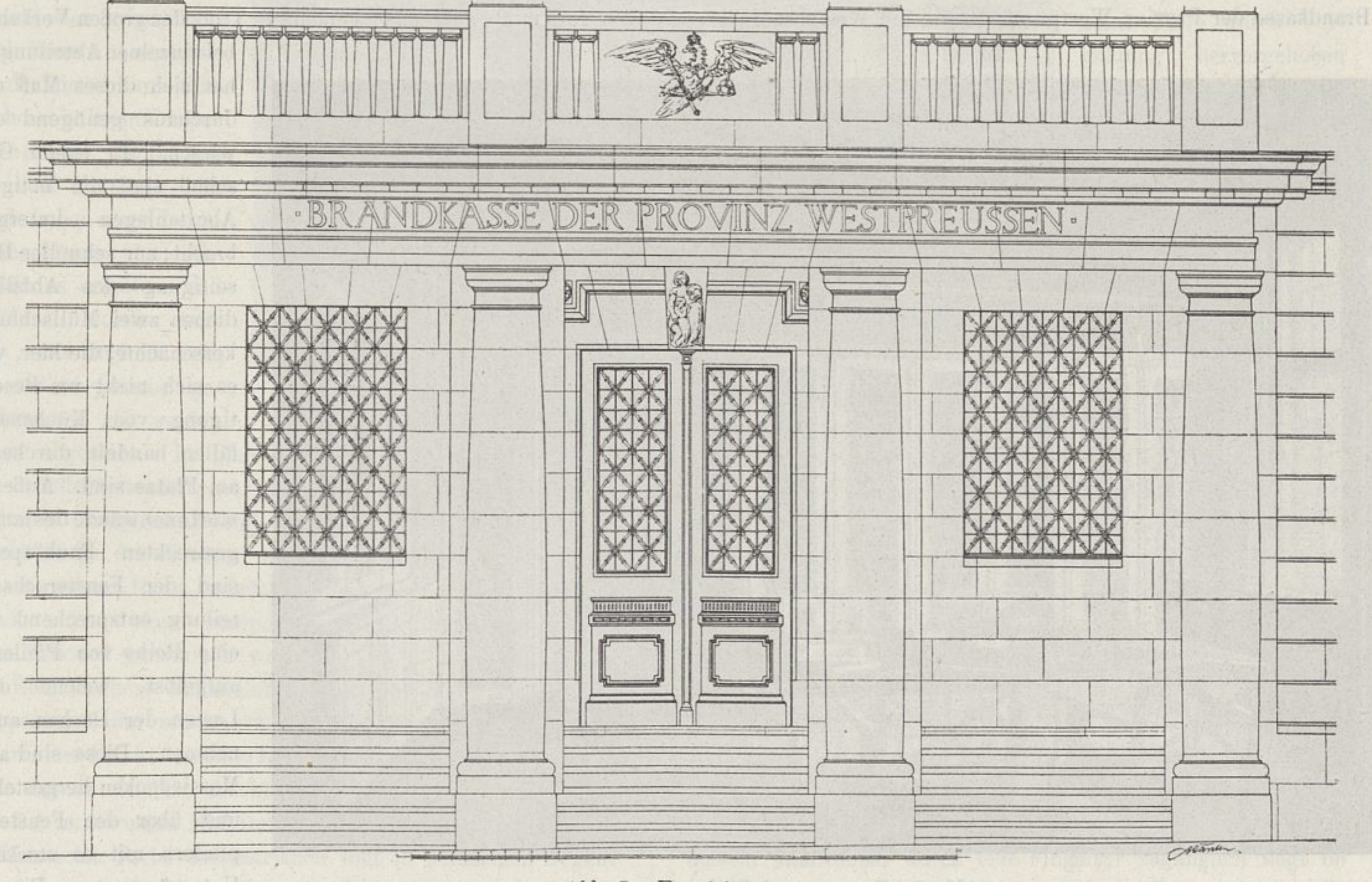


Abb. 5. Haupteingang.

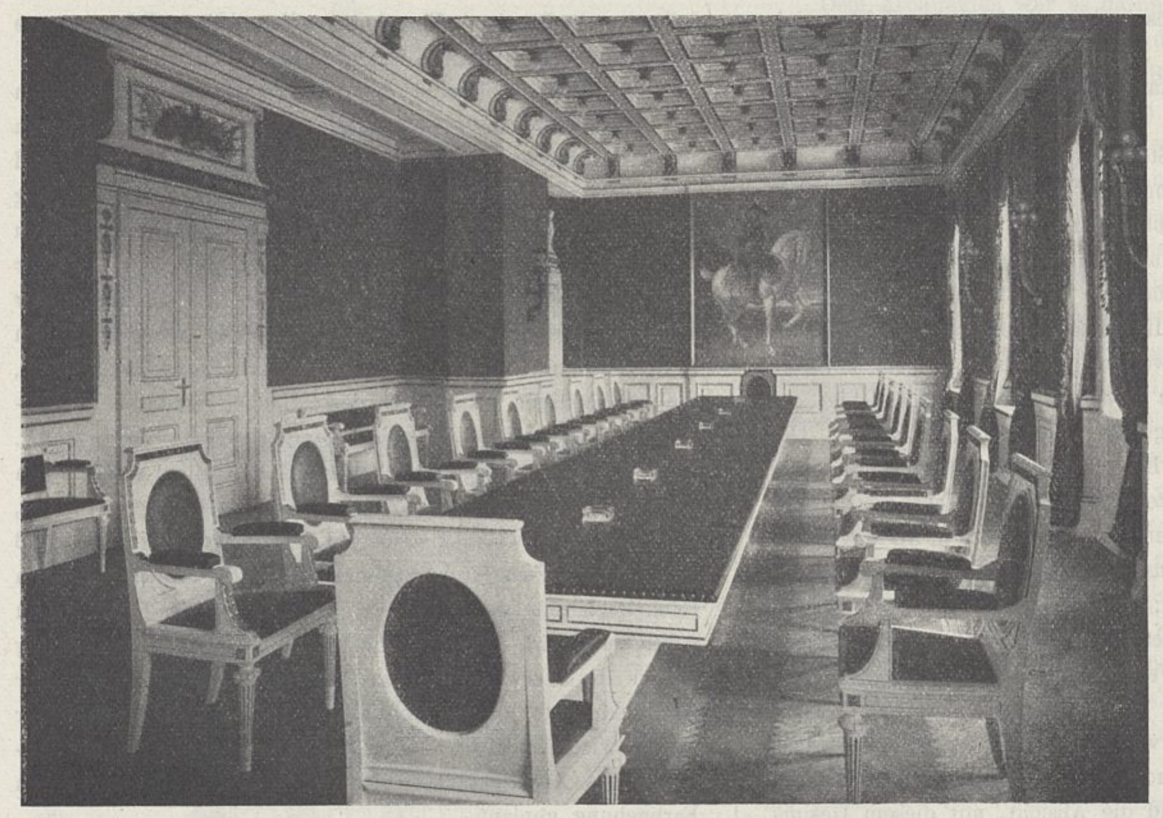


Abb. 6. Sitzungssaal.

haus bei, von dessen Wiederholung auf der rechten Seite in Anbetracht des Umstandes abgesehen werden durfte, daß der hier später anschließende Flügelbau mit einer ausgiebigen Treppenanlage versehen werden soll. Ein elektrisch betriebener Personenaufzug in der Gebäudemitte erleichtert außerdem den Verkehr zwischen den einzelnen Geschossen.

Diese sind vorerst nur zum Teil für die Zwecke der Brandkasse der Provinz Westpreußen (wie die Westpreußische Feuersozietät jetzt heißt) und der ihr angegliederten Westpreußischen Lebensversicherungs-Anstalt nutzbar gemacht. Die Kellerräume und die des Erdgeschosses sind an die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, die des dritten Obergeschosses an die staatliche Einkommensteuer - Veranlagungskommission vermietet, so daß die Geschäftsräume der Besitzerin sich zurzeit im ersten, zweiten und vierten Obergeschoß befinden. Die Einteilung der Räume und ihre Benutzungsart ist aus den Grundrissen ersichtlich (Abb. 3 u. 4 Bl. 7). Nur für den Sitzungssaal der Brandkasse war eine größere Raumtiefe als die durchgängig rd. 6 m betragende erforderlich. Er erhielt daher eine nischenartige Erweiterung nach dem Haupttreppenhause zu, so daß sich ein stattlicher Raum von 25,23 m Länge und, in seinem mittleren Teile, rd. 7 m Tiefe ergab. Die geforderte äußerste Raumausnutzung gebot Sparsamkeit in der Bemessung des Vorraumes und des Haupttreppenhauses, und auch für die Flure wurde eine Breite von 2,50 m als ausreichend erachtet. Trotz des großen Verkehrs bei einzelnen Abteilungen hat sich dieses Maß als durchaus genügend erwiesen. In jedem Geschoß sind die nötigen Abortanlagen untergebracht; zur schnellen Beseitigung des Abfalles dienen zwei Müllschluckerschächte, die hier, wo es sich nicht um Beseitigung von Küchenabfällen handelt, durchaus am Platze sind. Außen- wie Innenwände des langgestreckten Baukörpers sind der Fensterachsenteilung entsprechend in eine Reihe von Pfeilern aufgelöst, welche die Lasten der Decken aufnehmen. Diese sind als Massivdecken hergestellt und über den Fensterpfeilern mit so starken Unterzügen aus Eisen-

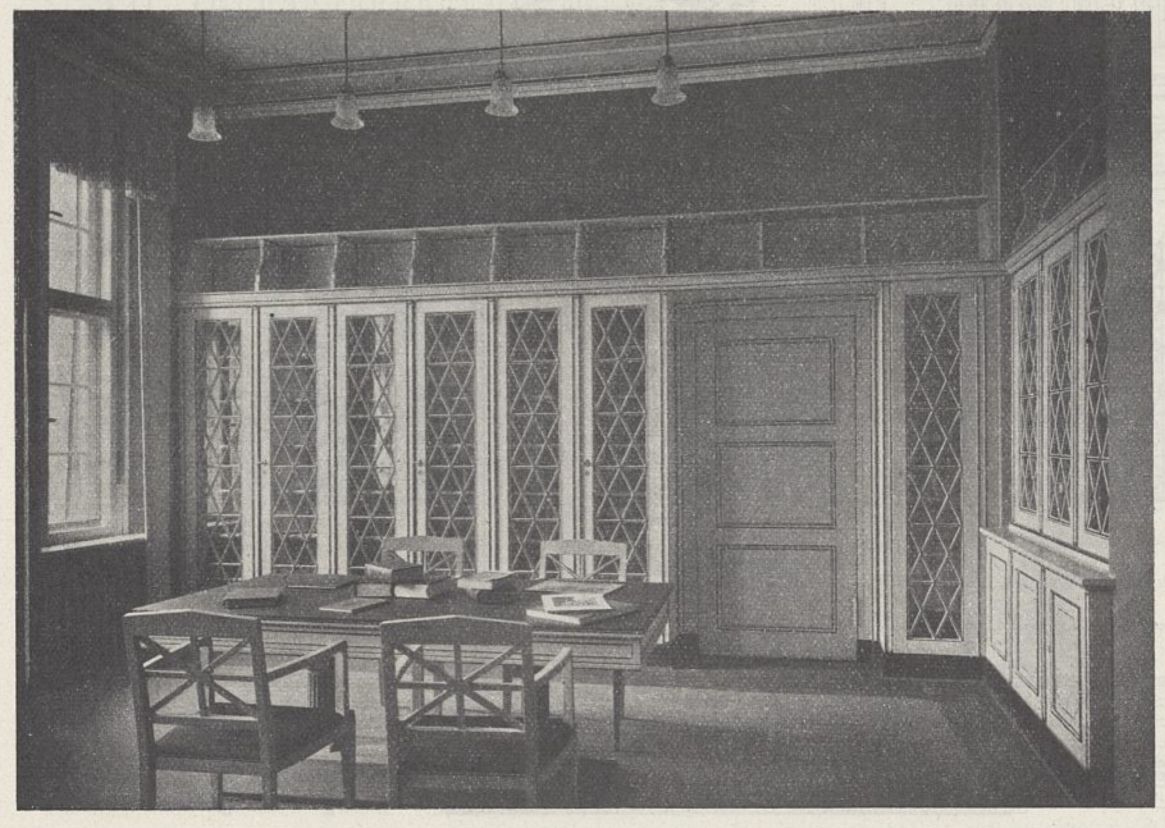


Abb. 7. Vorraum und Bücherei.

beton versehen, daß ohne weitgehende Veränderungen die aus Schwemmsteinen hergestellten Zwischenwände versetzt oder neu eingezogen werden können. Stärkere Quer- und Längswände aus gebrannten Ziegeln sind nur insoweit ausgeführt, als sie zur Versteifung des Gebäudes nötig waren. Dieser ist auch durch Ausführung von Ringankern aus Eisenbeton in jedem Stockwerk über den Fenstern Rechnung getragen, deren Sturzabdeckungen sie gleichzeitig bilden. Eine größere Eisenbetonkonstruktion war ferner zur Abfangung der Lasten nötig, die im Erdgeschoß auf dem nach der Radaune zu sich öffnenden Schaufensterbogen ruhen (Text-Abb. 2). Aus Eisenbeton sind sowohl die Haupttreppe mit ihren Pfeilern als auch die Nebentreppe hergestellt. Die Massivdecken haben zur Schalldämpfung eine Aufschüttung von Schlackenbeton und geglühtem Sand in verschiedener Schichtung erhalten und sind mit einem Zementestrich abgeglichen, auf den Linoleum geklebt ist. Nur der Sitzungssaal hat eichenen Stabfußboden erhalten.

Die innere Ausgestaltung der Diensträume aller Geschosse ist in einfachster Weise erfolgt. Die Decken sind weiß getüncht, die Wände haben einen Leimfarbenanstrich mit Abschlußfries erhalten und die Türen wurden teils grau, teils lebheft gelb oder rot in Ölfarbe gestrichen und mit weißen Linien abgesetzt. In gleicher Weise sind die Flurdecken und -wände behandelt; nur die unteren Wandteile des Flurs im ersten Obergeschoß sind in Ölfarbe gestrichen. Bei der Durchbildung der Fenster wurde Wert darauf gelegt, daß sich in jedem Raum mindestens ein oberer Lüftungsflügel befindet Von einer besonderen Entlüftungsanlage konnte daher Abstand genommen werden.

Eine reichere Behandlung haben nur die Vorhalle, das Treppenhaus, der schon erwähnte Sitzungssaal und das mit ihm in einer Flucht liegende Dienstzimmer des Generaldirektors sowie das unmittelbar anschließende Vorzimmer erhalten.

Der mit weißen Marmorfliesen beflurte Vorraum ist hell mit Keimscher Farbe ausgestrichen und in wirksamen Gegensatz dazu mit dunklem Marmorsockel, ebensolchem Wandabschlußgesims und Fensterumrahmungen aus gleichem Gestein versehen. Einen besonderen Schmuck hat dieser Raum durch zwei in Stiftmosaik ausgeführte, bündig in die Wandfläche eingelassene Inschrifttafeln erhalten, die auf die Gründungszeit der Westpreußischen Feuersozietät und auf ihre Übersiedlung in das neue Gebäude hinweise.n Auf einer dritten Tafel sind die Namen des Generaldirektors der Brandkasse und des Architekten angebracht. Später sollen an den Schmalwänden die Bronzebüsten Friedrichs des Großen und Kaiser Wilhelms II. aufgestellt werden. Drei Türen vermitteln von diesem Raum aus den Zugang zum Haupttreppenhaus. Die Stufen und Absätze der doppelarmigen Treppe wurden sowohl in ihren Auftritt- wie in den Ansichtsflächen mit grünem Linoleum belegt und an den Kanten durch breite eiserne, gelegentlich ablösbare Stoßschienen gesichert, die zugleich den Linoleumbelag festklemmen. In dunkelgrüner Farbe ist auch das geschmiedete Eisengeländer gestrichen, dessen einzelne Teile durch Vergoldung hervorgehoben sind. Wand- und Pfeilerflächen des Treppenhauses wurden mit Keimscher Mineralfarbe in einem gelblichen Ton gestrichen; die Decken und die wenigen architektonischen Gliederungen dieses Raumes haben weißen Anstrich erhalten. In schwarzgrauer Farbe aufschablonierte Ornamentik belebt in bescheidener Weise die Wirkung des Treppenhauses, das absichtlich in seiner Ausgestaltung dasjenige Maß von Üppigkeit nicht überschreitet, welches dem Gesamtcharakter dieses Dienstgebäudes entspricht. Um so wirkungsvoller sind daher die teils in Graumalerei, teils in sparsamer Buntverglasung ausgeführten Treppenhausfenster und besonders diejenigen des ersten Treppenabsatzes. Professor Pfuhle zeichnete dafür drei von Puhl u. Wagner, Otto Heinersdorf ausgeführte Kartons mit Darstellungen des heiligen Florian und Versinnbildlichungen des Wirkens der Lebensversicherungsanstalt (Text-Abb. 9).

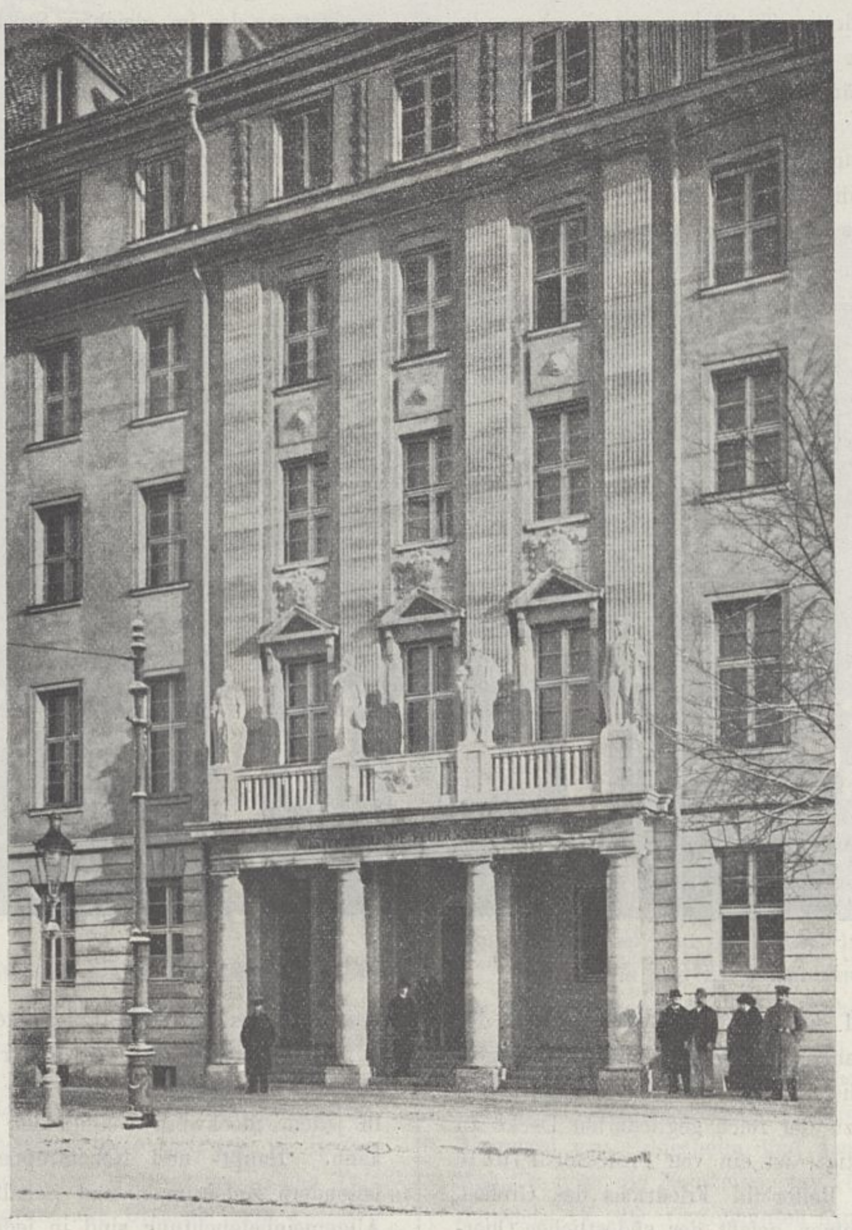


Abb. 8. Mittelteil der Hauptfront am Elisabethwall.

Von der Mittelachse des Haupttreppenhauses und von diesem unmittelbar durch eine Flügeltür zugänglich liegt im ersten Obergeschoß der Sitzungssaal (Text-Abb. 6). Er

erhält sein Licht durch fünf Fenster und kann, abgesehen von der Flügeltür, auch vom Dienstzimmer des Generaldirektors sowie von den Fluren aus durch einflüglige Türen betreten werden. Eine reich kassettierte Decke, die weiß gestrichen und teilweise vergoldet ist, überspannt diesen Hauptraum des Gebäudes. Seine Wände haben einen tiefroten Farbenanstrich erhalten. Sie sind in ihrem unteren Teil mit einem in Weiß und Gold gehaltenen Holzpaneel bedeckt und werden nur durch die in gleicher Weise behandelten Türflächen unterbrochen, die mit plastischem Schmuck versehene Aufsätze tragen (Text-Abb. 6). Rote Fenstervorhänge vervollständigen die einheitliche Wirkung dieses Raumes, die besonders bei künstlicher Beleuchtung zur vollen Geltung kommt. Diese erfolgt teils von der Decke herab durch die in jeder Kassette angeordneten elektrischen Lampen, teils ist sie als Wandbeleuchtung ausgeführt und tritt hier in Form von Fackeln auf, deren Flammen durch kleine elektrische Glühlampen ersetzt werden. Alle diese Beleuchtungskörper, auch diejenigen des unteren Vorraumes, sind, den Zeitverhältnissen entsprechend, statt in Bronze gegossen in Holz geschnitzt und vergoldet. Der Sitzungstisch und die mit rotem Leder bezogenen Stühle sowie zwei in der Nische stehende Ruhebänke sind der baulichen Ausgestaltung des Saales in Form und Farbe angepaßt. Der einzige Wandschmuck, den er enthält und der die Absicht, die glatten Wandflächen in wirksamen Gegensatz zu der reich gegliederten Decke zu bringen, nicht beeinträchtigt, ist ein von Professor Pfuhle in Lebensgröße gemaltes Reiterbild Friedrichs des Großen, das, in schmalem Goldrahmen gefaßt der südöstlichen Querwand eingepaßt wurde.

In die diesem Gemälde gegenüberliegende Wand ist die zum Dienstzimmer des Generaldirektors führende Tür eingeschnitten. Ebenso wie im Sitzungssaal wurde auch hier Wert auf eine einheitliche Gesamtwirkung gelegt. Als Komplementärfarbe zum roten Nachbarraum wurde ein kräftiges Grün gewählt, das in verschiedenen Tönungen die Wand- und Paneelflächen sowie die besonders gezeichneten Möbelstücke bedeckt hat. Diese ursprüngliche Farbgebung hat später zum Teil einem Graugrün weichen müssen, mit dem ohne Zutun des Architekten das Paneel und die Ausstattungsstücke überzogen wurden. Einen besonderen Schmuck hat dieser Raum durch Ölgemälde des Malers und Radierers Hellingrath erhalten. Sie stellen reizvolle Ansichten westpreußischer Städte dar.



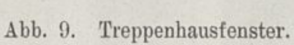



Abb. 9. Treppenhausfenster.

An dieses Zimmer schließt sich der gleichzeitig als Bücherei dienende Vorraum. An seinen Wänden entlang ziehen sich verglaste Schränke, die hell gestrichen und mit dunklen Linien abgesetzt wurden. Sie heben sich ebenso wie die gleichartig behandelten Türen von dem tabakfarbenen Anstrich der Wände wirksam ab (Text-Abb. 7).

Von besonderen Einrichtungen im Gebäude sind der im ersten Obergeschoß liegende feuersichere Tresorraum und die Ausstattung der im gleichem Stockwerk befindlichen Generalregistratur der Brandkasse mit eisernen Aktengestellen nach Lipmanscher Art zu erwähnen. — Für die Erwärmung sämtlicher Räume ist eine Niederdruckwarmwasserheizung ausgeführt. Die glatten Radiatoren sind tunlichst zur Freihaltung der Wandflächen in die Fensternischen gestellt und nur in den besser ausgestatteten Räumen verkleidet. Der Heizraum mit anschließendem Kohlenraum liegt in der ungefähren Mitte des Kellergeschosses. Zur Aufstellung kamen drei freistehende Kessel von je 28 qm Heizfläche, die auch für einen Teil der geplanten Erweiterungen genügen. Die Rauchgase der Kessel werden durch einen wagerecht gemauerten Rauchkanal in den doppelrohrigen Schornstein geleitet, der so gestellt ist, daß er die Wirkung des Gebäudes von den Straßenseiten her nicht beeinträchtigt.

Das Gebäude hat eine elektrische Lichtanlage erhalten, die derart unterteilt ist, daß der Stromverbrauch durch die in jedem Stockwerk befindlichen Zähler festgestellt werden kann. Haupt- und Nebentreppe sowie die Flure haben besondere Zuleitungen und Schalter erhalten. Außer einer Allgemeinbeleuchtung sind in jedem Raum Steckdosen zum Anschluß von Tischlampen an passenden Stellen vorgesehen. Für die sämtlichen unter Putz verlegten Leitungen ist Stahlpanzerisolierrohr verwendet worden. — Die Baukosten betrugen zusammen mit den Ausstattungsstücken des Sitzungssaales, des Dienstzimmers für den Generaldirektor und des Vorzimmers, aber außer den für den Bildschmuck aufgewendeten Summen rund 570000 Mark. Ohne diese Neuanschaffungen für die innere Einrichtung der Brandkassenräume, für deren Ausstattung im übrigen der alte Möbelbestand verwendet wurde, stellt sich die Bausumme auf rund 540000 Mark. Der umbaute Raum beträgt 22138 cbm, so daß sich ein Einheitspreis von 25,39 Mark für das Kubikmeter ergibt. Seine Höhe rechtfertigt sich durch die schon im ersten Kriegsjahre eingetretene Verteuerung der Baumittel und Arbeitslöhne.

Die Wiederherstellung des Münsters in Gandersheim und die baugeschichtlichen Ergebnisse derselben.

Vom Oberbaurat Hans Pfeifer in Braunschweig.

(Mit Abbildungen auf Blatt 8 und 9 im Atlas.)

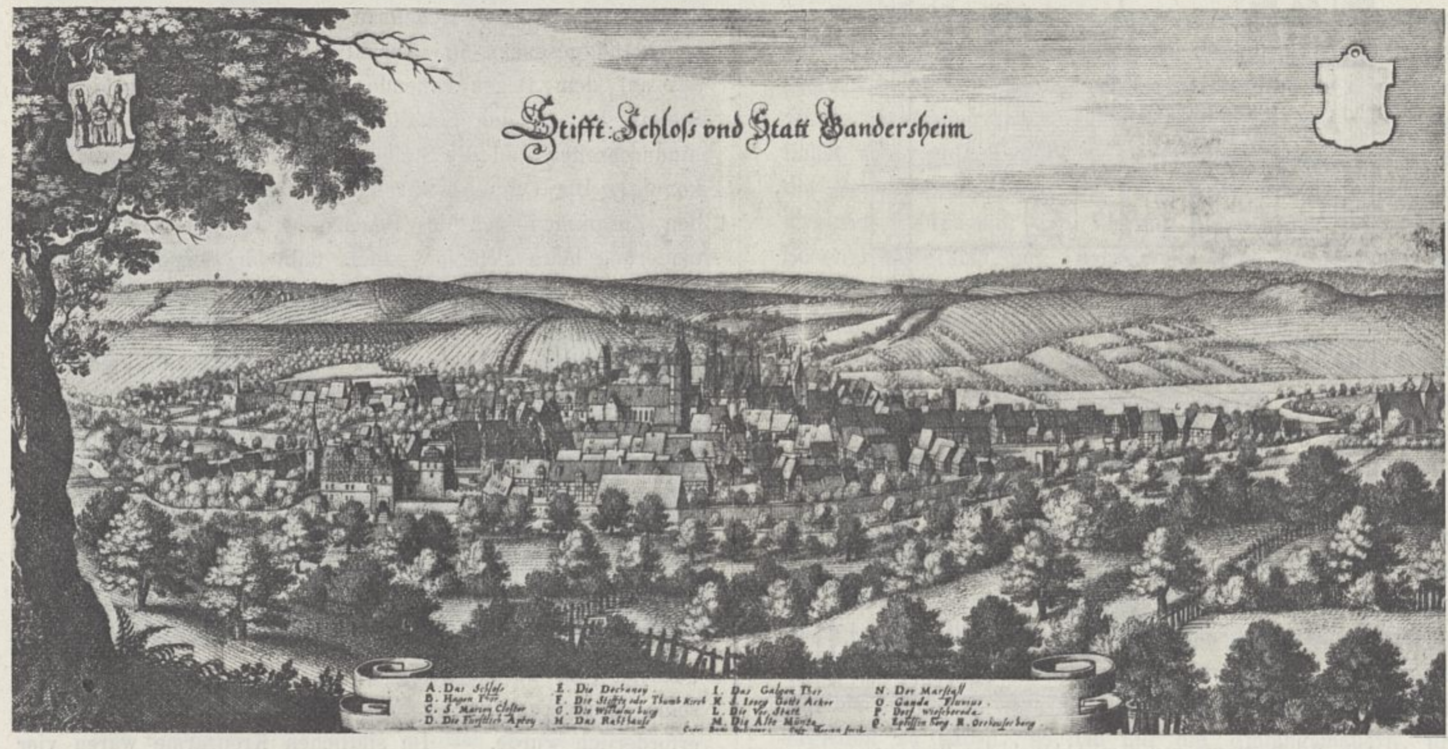


Abb. 1. Stadtbild nach Merian.

Für die Wiederherstellung des Münsters[1]) in Gandersheim und die baugeschichtliche Wertung der einzelnen Bauteile sind die Brände von besonderer Bedeutung, von denen die Stiftsgebäude mit der Kirche wiederholt im Mittelalter heimgesucht worden sind.

Gandersheim ist eine Stiftung des Sachsenherzogs Ludolf und seiner Gemahlin Oda aus Billungischem Geschlechte. Um die Mitte des neunten Jahrhunderts zunächst in Brunshausen errichtet, erfolgte schon nach wenigen Jahren ein Neubau des Klosters in dem benachbarten Gandersheim. Die Ursachen der Verlegung sind nicht bekannt; da Brunshausen auf der Höhe, Gandersheim aber im sumpfigen Tale liegt, kann schlechter Baugrund die Ursache nicht gewesen sein; wohl aber ist es denkbar, daß am ersteren Orte der Platz zu einer geräumigen Anlage, wie sie geplant war, gefehlt hat.

Das Kloster war als Familienstiftung zur Aufnahme und Erziehung der weiblichen Nachkommen der Stifter gedacht. Nach fast fünfundzwanzigjähriger Bauzeit wurde die Kirche in Gandersheim im Jahre 881 vom Bischof Wigbert von Hildesheim zu Ehren Johannes d. T. und der Heiligen Anastasius und Innocentius, deren Körper Ludolf und Oda auf einer Romfahrt vom Papste Sergius II. erhalten hatten, geweiht. Der Turm aber erhielt seine Weihe erst durch den Bischof Sighardt von Hildesheim im Jahre 923.[2]) Roswitha, die gelehrte Nonne des Stifts, die im 11. Jahrhundert lebte, bemerkt, daß die Kirche ein besonders solide hergestellter Bau gewesen sei, ein Massivbau.[3])

973 wurde das Kirchengebäude durch Brand zerstört; der Wiederaufbau erforderte 27 Jahre, ein Beweis, daß die Zerstörung eine gründliche gewesen sein muß. Im Jahre 1000 sollte die Neuweihe stattfinden; aber infolge des als Pfaffenkrieg bezeichneten Zuständigkeitsstreites zwischen dem Bischof Bernward von Hildesheim und dem Erzbischof Willigis von Mainz konnte die Neuweihe erst 1007 in Gegenwart Kaiser Heinrichs II., der vorgenannten Kirchenfürsten und von zehn Bischöfen mit allem kirchlichen und höfischen Glanze vorgenommen werden.

Fast 100 Jahre nach dem ersten Brande, während der Regierung der Äbtissin Adelheid II.[4]), zwischen 1063 und 1094, wurde das Gotteshaus zum zweiten Male vom Feuer zerstört. Ein dritter Brand entstand in der zweiten Hälfte des 12. Jahrhunderts, etwa um 1153. Der Wiederaufbau erfolgte bis zum Jahre 1168, erforderte also eine Bauzeit von 15 Jahren.

1) Über die Bezeichnung „Münster" vergleiche: Hermann Eiken, Studien zur Baugeschichte von St. Maria im Kapitol in der Zeitschrift für Geschichte der Architektur, Beiheft 12 Seite 1, und Karl Steinacker im Jahrbuch des Geschichtsvereins für das Herzogtum Braunschweig, 1909, VIII. Jahrgang, Seite 11.

2) A. Zeller, Kirchenarchitektur Heinrichs I. und der Ottonen in Quedlinburg, Gernrode, Frose und Gandersheim. Berlin, Springer 1916, Seite 65.

3) Steinacker, Stift Gandersheim im Jahrbuch des Geschichtsvereins für das Herzogtum Braunschweig, Seite 12.

4) Daselbst S. 13. Leuckfeld gibt als Todesjahr der Äbtissin Adelheid II. das Jahr 1087 an.

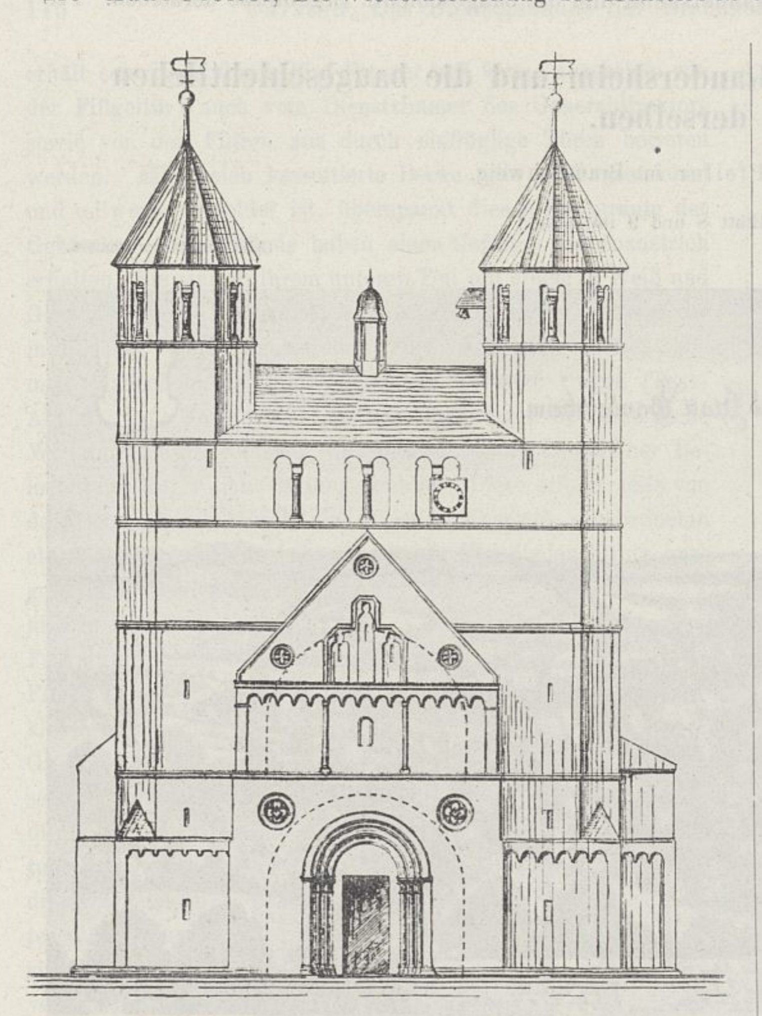


Abb. 2. Westseite vor dem Abbruch des Paradieses.
(Nach einer älteren Zeichnung.)

Ein vierter Brand im Jahre 1597 hat weniger die Kirche als die Stiftsgebäude betroffen.

Den Bränden entsprechend können wir, soweit die romanischen Bauteile in Betracht kommen, vier Bauabschnitte unterscheiden: 1. von 881 bis 973; 2. von 973 bis etwa 1073; 3. von 1073 bis etwa 1153; 4. von 1153 bis 1168.

Die Kirche des vierten Bauabschnittes ist im wesentlichen bis zum Einsetzen der Wiederherstellungsarbeiten Ende der dreißiger Jahre des 19. Jahrhunderts erhalten geblieben.

I. Die Wiederherstellung der Kirche im 19. Jahrhundert.

Über die bauliche Beschaffenheit des Münsters im ersten Viertel des 19. Jahrhunderts, vor Beginn der Wiederherstellungsarbeiten, sind wir ziemlich genau unterrichtet. Danach befand sich das Gotteshaus in einem „über die Maßen“ verwahrlosten und schlechten Bauzustande.

Das Mauerwerk der Kirche und der Türme war auf den Außenseiten so stark ausgewittert, daß aus den offenen Fugen Unkraut und Strauchwerk hervorwucherten, wodurch das Mauerwerk gelockert und durch die Einwirkungen des Frostes auseinandergesprengt wurde. Alle Quaderteile an Gesimsen, Fenstern und Türen waren mehr oder weniger schadhaft; ein Teil der nördlichen Seitenschiffe und Kapellenmauern war durch den Schub der Gewölbe ausgebaucht und geborsten. Am bedenklichsten war die Südwestecke des Turmes, sowie die Westseite des Turmunterbaues, die sich derart vom Kernmauerwerk abgelöst hatten, daß sie einzustürzen drohten.

An der Westseite befand sich eine zweigeschossige Vorhalle (Text-Abb. 1 u. 2), dem Äußeren nach dem 12. Jahrh. angehörend, im Kern jedoch wohl älter, deren Mauerwerk durch den Druck der in beiden Geschossen vorhandenen Gewölbe stark übergewichen und durch den Zahn der Zeit und ungenügende Unterhaltung in allen Teilen derart zerstört war, daß der Einsturz zu befürchten stand und 1838 der Abbruch erfolgen mußte.

Der große Bogen hinter dem Obergeschoß der Vorhalle, der den massiven Zwischenbau der Türme trägt, hatte sich bedeutend gesenkt, eine Anzahl Bogensteine war zersprengt, das auf dem Bogen ruhende Mauerwerk an verschiedenen Stellen bis zu den Schallöffnungen gerissen, so daß man hindurchsehen und die Steine mit leichter Mühe herausziehen konnte. Die Öffnung war schon vorher ausgemauert, um den Zusammenbruch des Bogens zu verhindern. Die Ausmauerung hatte sich so gesetzt, daß der Bogen nicht mehr aufruhte. Bei den Wiederherstellungsarbeiten glaubte man die ursprüngliche Anordnung des Bauwerks klargelegt zu haben und beschloß deshalb, „das Kirchengebäude der ersten Anlage möglichst entsprechend herzustellen“; dabei sollte aber auch den Bedürfnissen des protestantischen Gottesdienstes in zweckmäßiger Weise Rechnung getragen werden.

Zwischen den gotischen Kapellen des südlichen Seitenschiffes befanden sich geschlossene Mauern, die den Ausblick nach dem Mittelschiff und Chor hinderten; sie wurden beseitigt. Der im Spitzbogen geschlossene Gurtbogen zwischen der Johanniskapelle und dem südlichen Seitenschiff war so „desolat“, so unregelmäßig und für das Auge störend, daß seine Erneuerung unter Verwendung der alten Baustoffe erforderlich wurde. — Im südlichen Kreuzarme waren vier romanische Fenster (Abb. 8 Bl. 8), sowie ein schlecht erhaltenes Rundbogenportal vorhanden, die zugemauert oder erneuert wurden. Um die freigelegten Kreuzflügel sowie die Choranlage in „ursprünglicher Form“ wiederherzustellen und die Architektur mit der des Hauptschiffes in Übereinstimmung zu bringen, wurde in jeder Giebelwand ein neues großes „romanisches“, d. h. mit einem Rundbogen geschlossenes Fenster, darunter aber ein kleines Rundfenster hergestellt. Um dem neuen Fenster im nördlichen Kreuzarm Licht zuführen zu können, mußte der anschließende Abteiflügel mit der Betkapelle der Äbtissin niedergelegt werden.

Von besonderem Wert ist die Mitteilung, daß der Mörtel der gotischen Bauteile so fest und hart befunden wurde, daß es ebenso leicht war, die Steine selbst, als den Mörtel zu zerschlagen; während bei dem älteren romanischen Mauerwerk der Mörtel zu Staub geworden war, so daß bei dem Abbruch unterer Mauerteile das obere Mauerwerk sorgfältig abgestützt werden mußte. Besonders in den Kreuzflügeln war das Mauerwerk ohne jeden Verband und ohne jeden Mörtel. Während ursprünglich beabsichtigt war, die Sockelgesimse, Kämpfer und Basen der Pfeiler und Säulen durch Ausspunden und Versetzen einzelner Quaderstücke wiederherzustellen, wurde später eine gänzliche Erneuerung dieser Bauglieder vorgenommen, weil das „Nacharbeiten“ derselben die ursprünglichen Profile zu sehr verändert haben würde. Besonders schwierig erwies sich die Erneuerung der Säulenbasen; die alten Basen mußten bis auf einen 40 cm haltenden Kern, der die ganze Last der Säule und Mauermasse zu tragen hatte, weggespitzt werden, damit die Basen in zwei Stücken um den Kern herumgeschoben werden konnten.



Abb. 3. Westansicht.

Der Kostenersparnis wegen wurden die Kämpfergesimse in Zementmörtel mit der Schablone gezogen, nachdem vorher eichene Pflöcke in das Mauerwerk eingetrieben und erforderlichenfalls mit Draht verbunden waren. In gleicher Weise wurde das Gurtgesims wiederhergestellt, nur wurde hier Gips statt Zement genommen. Die Arbeiten sind übrigens so geschickt ausgeführt worden, daß die Verwendung der Ersatzmittel kaum in die Augen fällt.

Die beiden Außenmauern des Mittelschiffes waren nach außen zu ausgewichen, so daß der Unterschied der Breite des Mittelschiffes am Boden und unter der Decke 70 cm betrug. Die Wandflächen oberhalb des Gurtgesimses waren deshalb nicht im Lote und windschief; das obere Mauerwerk wurde abgetragen und vorgekragt, um im Inneren eine möglichst senkrechte Putzfläche zu erhalten. Das Ausweichen der Seitenmauern hatte zur Folge, daß der Triumphbogen zwischen Hauptschiff und Vierung einzustürzen drohte; im Scheitel hatte sich eine 15 cm weite Fuge gebildet und der Schlußstein 31 cm gesetzt. Bei der Wiederherstellung konnten nur die Sandsteine wieder Verwendung finden, während die Kalksteine durch die verschiedenen Brände vollständig zerstört waren. Das Umfangsmauerwerk der Kreuzflügel war ebenfalls von sehr schlechter Beschaffenheit, so daß eine vollkommene Erneuerung erforderlich wurde. Ebenso waren die Gewölbe des Westchores, der Vierung und der Kreuzflügel von zahlreichen Rissen durchsetzt; sie mußten durch Verzwicken, Nacharbeiten und Ausspunden gefestigt werden.

Diese außerordentlichen Zerstörungen sind zweifellos auf die Brandschäden zurückzuführen, von denen die Kirche im Mittelalter wiederholt heimgesucht worden ist. Insbesondere scheint der Brand nach 1063 das ganze Innere des Münsters ergriffen zu haben, so daß nur die Umfangsmauern, und diese stark beschädigt, ausgebogen und zersprengt, übrig geblieben waren. Bei der Wiederherstellung der Kirche nach diesem Brande sollten Chor, Vierung und Mittelschiff gewölbt werden. Im Chor und in der Vierung sowie in den Seitenschiffen kam die Wölbung noch zur Ausführung, im Mittelschiff aber wurden nur die Pfeilervorlagen vor den Arkadenpfeilern und den Mittelschiffmauern zur Ausführung gebracht. Die mit Eckdiensten versehenen Pfeilervorlagen hatten mit dem alten Mauerwerk keinen Verband (vgl. Text-Abb. 18), so daß sie mit den stark ausgewichenen Mittelschiffmauern der Wölbung keinen genügenden Widerstand entgegensetzen konnten. Die Pfeilervorlagen blieben bis zu den Gewölbeanfängern unfertig stehen; bei den Wiederherstellungsarbeiten im 19. Jahrh. wurden sie, obgleich sie für die Baugeschichte



Abb 4. Südostansicht.

von besonderem Werte waren, beseitigt. Sie paßten eben nach der Ansicht des Wiederherstellers nicht in den ursprünglichen Kirchenbauplan hinein.

Der bedenkliche Zustand der Mittelschiffmauern hatte nach dem Brande von 1153 die Verankerung derselben zur Folge. Die von Mauer zu Mauer hängende Ankerkette wurde vorsichtig abgenommen und in dem Raume unter der Vision an der Westwand angebracht. Jetzt befindet sie sich in einer der Kapellen des nördlichen Seitenschiffes. An Stelle der massiven Wölbung trat im 18. Jahrhundert ein Tonnengewölbe aus Bohlen und Brettern, das ebenfalls beseitigt wurde.



Abb. 5.
Grabmal Herzog Ludolfs.

Der Fußboden der Kirche bestand aus alten großen Leichensteinen, derjenige der Krypta war ganz vermodert. Die beiden westlichen Säulen der Gruft waren ausgewichen und zersplittert, so daß sie ersetzt werden mußten. Die westliche Kryptamauer reicht nur bis zur Mitte der Vierung (Abb. 7 Bl. 8), während der Chorfußboden mindestens schon im 12. Jahrhundert bis zum Triumphbogen vorgeschoben war. Die Verlängerung der Kryptamauer nach Westen wurde als spätere Zutat angesehen und beseitigt.

Im Chor stand ein im Jahre 1711 errichteter reich geschnitzter Hochaltar, der, weil er nicht in den Wiederherstellungsplan hineingehörte, beseitigt wurde, aber in der St. Georgskirche vor Gandersheim[5]) erhalten geblieben ist. Die schiefe und unregelmäßige Halbkuppel der Apsis, ein Bauteil aus dem Anfang des 18. Jahrhunderts, mußte beseitigt werden; die Wölbung wurde erneuert. Gleichzeitig wurden drei neue große Fenster in der Apsismauer angelegt.

In der Stephan- oder Ludolfkapelle auf der Südseite des Chores befand sich ein Holzbild mit der Darstellung des Herzogs Ludolf, des Gründers der Kirche, in mehr als Lebensgröße in einem ganz verfallenen Kasten (Text-Abb. 5). Zur Erhaltung des „uralten" Denkmals mußte es instandgesetzt und mit einem neuen schützenden Kasten versehen werden; hierbei wurde das Schwert, das der Herzog in der Hand hielt, erneuert. Das Denkmal wurde dann in der St. Antoniuskapelle des nördlichen Seitenschiffes wieder aufgestellt.

Vom heutigen Standpunkt der Denkmalpflege muß die Wiederherstellung der Stiftskirche in der Mitte des 19. Jahrhunderts als in vieler Hinsicht verfehlt bezeichnet, die Beseitigung der spätromanischen Bauteile und die ungenügende kunstgeschichtliche Erschließung des Bauwerks bedauert werden; es darf dabei aber auch nicht übersehen werden, daß die Wiederhersteller Kinder ihrer Zeit waren, einer Zeit, die kunstgeschichtlich noch nicht so vorgeschritten war, um mit Sicherheit und Erfolg an die Lösung von Aufgaben der vorliegenden Art herantreten zu können. In technischer Hinsicht ist auch in Gandersheim Hervorragendes geleistet, so daß das dem Einsturz verfallene Baudenkmal der Nachwelt erhalten geblieben ist.

5) Denkmalpflege 1900, Seite 75.

II. Die baugeschichtlichen Ergebnisse.[6])

A. Der Ostbau.

Franz Kugler hat in seiner Geschichte der Baukunst[7]) bereits darauf hingewiesen, daß „die Grundlage des Chores der Kirche von Gandersheim für älter erachtet werden muß, als die westliche Vorhalle, da der Disposition der letzteren der Schiffbau folgt, die engere Disposition des Chores aber auf einen früheren beschränkten Bau deutet." . . . . . . „Die Details der Krypta verraten jedoch eine Erneuerung zur Zeit des Schiffbaues, die des Oberbaues des Chores eine abermals jüngere Bauveränderung, die vom Schlusse des 12. Jahrh., welche auch das Schiff umzuwandeln strebte."

Allein nicht nur die Grundrißanlage der Stiftskirche deutet auf eine ältere Choranlage hin, sondern auch der Aufbau des Chores enthält noch Bauteile, die verschiedenen Bauabschnitten angehören und bis zu der ersten Kirchenanlage des 9. Jahrhunderts zurückgehen. Bei den jetzt zu einem Abschluß gebrachten Wiederherstellungsarbeiten im Innern der Kirche war Gelegenheit gegeben, die Umfassungsmauern der Krypta einer eingehenden Untersuchung zu unterziehen, wobei die auch von Kugler und Otte bereits ausgesprochene Vermutung, daß der Kern dieser Mauern ältere Baureste enthalten müsse, bestätigt wurde. Die östliche Kryptamauer ist dem alten Mauerwerk nur vorgeblendet (Abb. 7 Bl. 8 u. Text-Abb. 6), und dieses liegt mit der Unterkante etwa 0,40 m höher als der Kryptafußboden, während der obere Fundamentabsatz des alten Kernes 1 m über dem Fußboden liegt.

Die vordere Krypta ist dreischiffig, und auf der Nordwand derselben trat das alte Kernmauerwerk nach Beseitigung der Blende ebenfalls zutage. Hier aber fand sich in etwa 2,20 m Höhe über dem Fußboden der Krypta ein mit einer

6) Bei den örtlichen Untersuchungen und Aufnahmen haben mir in dankenswerter Weise der Vorstand des Hochbauamts Gandersheim, Baurat W. Fricke, und der Regierungsbaumeister Katzorke zur Seite gestanden.

7) Bd. 2 S. 373 (Stuttgart, Ebner u. Seubert, 1858).

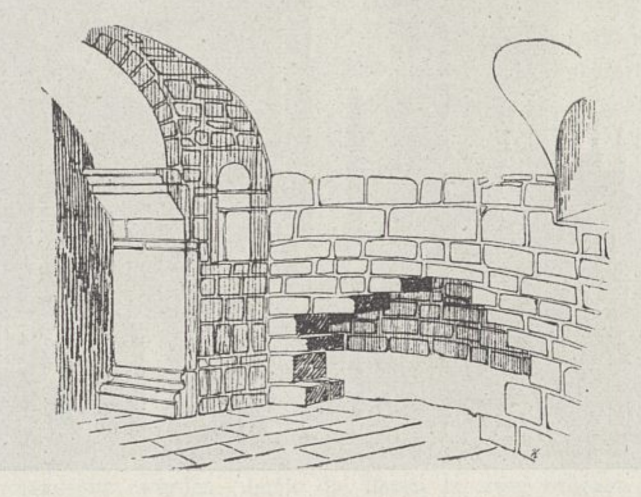


Abb. 6. Freilegung der inneren Nordwand der Krypta.



Abb. 7. Nördliche Chorwand nach der Freilegung.

Platte abgedecktes Brüstungsmauerwerk und ein Stück Gewändequader. Dieses Gewände setzt sich senkrecht bis in das Mauerwerk der Nordwand des Chores fort, geht also noch über die Höhenlage des Kryptagewölbes hinaus. In der Nordwand des Chores (Abb. 3 Bl. 8 u. Text-Abb. 7) aber trat nicht nur in der Fortsetzung des Gewändes ein aus kleinen, bearbeiteten Bruchsteinen hergestellter größerer Bogen, sondern auch eine Unterteilung desselben durch kleinere Bögen mit teilweise noch erhaltenen Gewänden und Kämpfern zutage. Der westliche Anfallpunkt des großen Bogens liegt nicht nur hinter dem mit Ecksäulchen versehenen Gewölbedienste des 12. Jahrh., sondern tritt noch etwas hinter den nördlichen Pfeiler des östlichen Vierungsbogens (Text-Abb. 15). Die Unterteilung des großen Bogens muß nachträglich, nachdem der große Bogen bereits ausgeführt war, zur Ausführung gekommen sein, denn die ebenfalls aus kleinen Bruchsteinen hergestellten Bögen derselben greifen, wo sie den großen Bogen berühren, in diesen derart ein, daß eine gleichzeitige Ausführung ausgeschlossen erscheint. Aber auch diese kleinen Bögen und Gewände müssen einem älteren Bau angehört haben, als die Krypta, gleichwie der große Bogen als Zubehör des festgestellten Kernmauerwerks angesehen werden muß. Das Gewände des kleinen Seitenbogens hat bis Oberkante Kämpfer eine Höhe von 2,95 m, die Brüstung eine solche von 1,20 m und schließt mit Unterkante annähernd mit der Höhe des Kirchenfußbodens ab.

Die Krypta ist also ein späterer Einbau, und das Bauwerk des in den Resten erhaltenen Münsters hatte keine Krypta. Der ungeteilte große Bogen der Chorwand deutet aber auf eine Öffnung nach dem Seitenschiffe hin, was wiederum auf das Vorhandensein von Kreuzarmen neben einer Vierung vor der Chorapsis schließen läßt. Den Anfallpunkt der Ostwand der Kreuzarme können wir auf der Südseite der Chorapsis feststellen, wo in dem später vorgeblendeten Sockelmauerwerk der Anschluß mit einer Mauerstärke von rd. 0,80 m sichtbar ist (Text-Abb. 8).

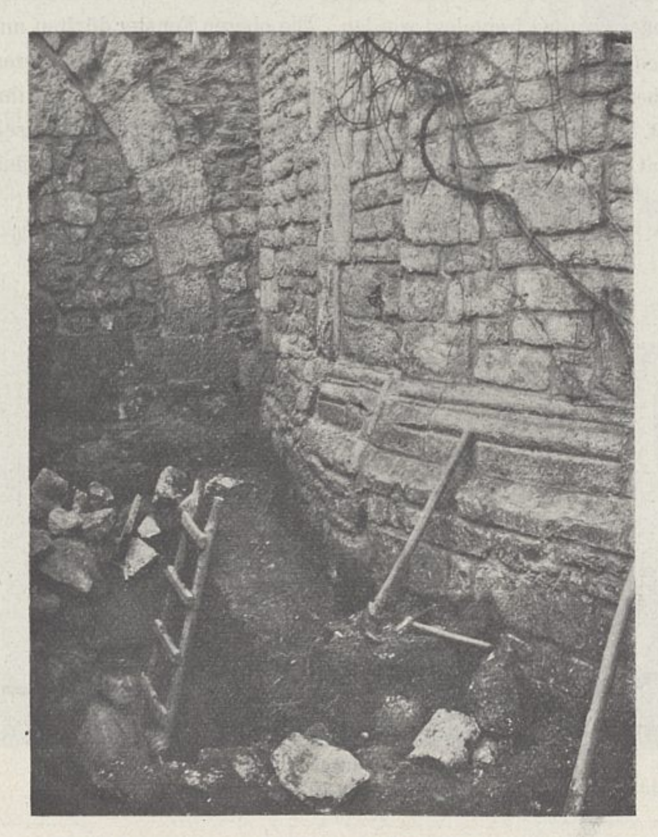


Abb. 8. Anschluß der Hauptapside an die südliche Anschlußmauer (Sakristei).

Das Kernmauerwerk mit dem Bogen stellt zweifellos den Rest des ältesten Kirchengebäudes dar. Für die räumliche Ausdehnung der ältesten Kirche ist aber noch ein weiterer Anhalt gegeben. Werden die Chormauern nach Westen verlängert (Abb. 1 Bl. 8), so ergibt sich, daß die Entfernung der Umfassungsmauern der Seitenschiffe bis zur Außenkante der verlängerten Chormauer, d. h. das Lichtmaß der alten Seitenschiffe, fast genau der Hälfte der Entfernung zwischen den Chormauern entspricht, d. h. die Seitenschiffe der alten Kirche waren halb so breit als das Mittelschiff, ein im frühen Mittelalter häufig vorkommendes Verhältnis.[8]) Die heutigen Seitenschiffmauern sind mithin au Stelle der alten errichtet.

Diese Angaben genügen, um eine ungefähre Vorstellung von dem ältesten Kirchenbau, dem Gründungsbau des Herzogs Ludolf und der Herzogin Oda um 850, zu geben. Es war eine flachgedeckte Basilika nach Art der crux commissa (Abb. 1 Bl. 8), wie sie die Kirchenbauten des Bischofs Altfrid in Hildesheim und Essen kennzeichnen. Altfrid stand zu der Gandersheimer Stiftung in nahen Beziehungen und führte die erste Äbtissin Hathumod 852 in ihr Amt ein.

Die Abmessungen der Baureste lassen darauf schließen, daß es sich um einen erheblich kleineren Kirchenbau, als er später zur Ausführung gelangte, gehandelt haben muß. Daß es ein Massivbau war, und daß die Kirche nur einen Turm hatte, bezeugt die Geschichtsschreiberin des Stifts, Roswitha, ausdrücklich.

8) Ad. Bertram in der Zeitschrift für christliche Kunst, XII. Jahrgang, Seite 154.



Abb. 9. Rundfenster in der Ostwand des nördlichen Kreuzschiffes.

Die Aufteilung des Bogens der Chorwand in eine dreifache Arkade stellt den zweiten Bauabschnitt der ältesten Kirche dar, der sich jedoch nur auf eine Trennung des Chores von den Kreuzarmen bezogen haben dürfte. Die Aufteilung scheint durch den Bau innerer Apsiden in den Kreuzarmen hervorgerufen zu sein, deren Mauerwerk (Abb. 1 Bl. 8 bei x) vor die große Bogenöffnung getreten wäre, wenn nicht das östliche Seitengewände des kleinen Arkadenbogens den Vorsprung gedeckt hätte. In den Kreuzarmen befand sich auf der Südseite die St. Stephankapelle mit der Grabstätte des Herzogs Ludolf, auf der Nordseite die Marienkapelle. Die Brüstung, auf der die Stützen der Arkadenteilung stehen, dürfte hiernach den Zweck gehabt haben, die Kapellen vom Chor abzuschließen, ohne den Durchblick nach der Grabstätte und nach den Altären zu hindern. Ludolf und Hathumod sind vor der Vollendung des ersten Kirchenbaues gestorben, und ihre Gebeine wurden erst 881 nach Gandersheim überführt. Es ist wohl denkbar, daß hierbei die bauliche Umänderung der ursprünglichen Anlage vorgenommen wurde. Für das Alter der Arkadenstellung spricht auch die einfache Form des Kämpferprofils, Platte und Schräge; auf dem alten Putz in der Leibung des östlichen Bogens sind noch geringe Reste einstiger Bemalung erhalten.

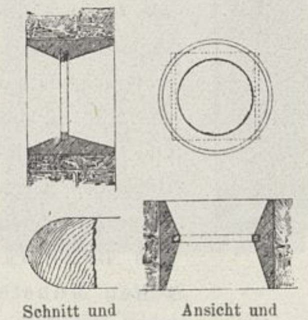


Abb. 10. Hölzerner Fensterrahmen.

Die Feuersbrunst im Jahre 973 hatte die alte Kirche bis auf die geringen wieder aufgefundenen Baureste zerstört. Der Wiederaufbau dauerte 27 Jahre, und die Neuweihe wurde besonders glanzvoll vorgenommen. Das läßt auf einen umfangreichen und hervorragend ausgestatteten Bau schließen. Nun dürfte es wohl kein Zufall sein, daß, wenn die Verschiebung der Mauern des Westbaues infolge abweichender Längsachse unberücksichtigt gelassen wird, die Länge des Mittelschiffs bis zur Vierungsmauer des Triumphbogens der doppelten Breite zwischen den Seitenschiffmauern entspricht (Abb. 1 Bl. 8). Die neue Kirche wurde mithin um das Doppelte der ursprünglichen Schifflänge nach Westen hinausgeschoben. Dieser Ausdehnung entsprechend mußte auch die Schiffbreite geändert werden und selbstverständlich auch die Höhe. Die Verbreiterung wurde in der Weise vorgenommen, daß die Mittelschiffmauern mit den Arkaden um etwa die Dicke der alten Mauern nach Norden und Süden hinausgeschoben wurden, so daß nunmehr das Lichtenmaß der ursprünglichen Seitenschiffe der Hälfte des neuen Mittelschiffs entspricht. Wie bei den Domen in Goslar und Hildesheim erhielt das Langschiff die Länge des westlichen Querschiffs. In der Ostwand des nördlichen Kreuzarmes traten nach der Beseitigung des Putzes zwei Rundfenster, zum Teil noch mit den alten vom Feuer stark angegriffenen Holzrahmen[9]) zutage (Abb. 5 Bl. 8 u. Text-Abb. 9 u. 10), von denen das nördliche teilweise von dem Deckengewölbe verdeckt wird, mithin einem älteren Bau als die Wölbung angehört haben muß. Die Regelmäßigkeit in der Anordnung der Rundfenster läßt vermuten, daß es sich dabei um keine vereinzelte Anlage, etwa der Laune des Baumeisters oder Bauherrn entsprungen, gehandelt, sondern, daß diese Fensterform das Leitmotiv der Fensteröffnungen des älteren Bauwerks gebildet hat oder bilden sollte, wie wir sie bei den Kirchenbauten auf der Insel Reichenau antreffen. Auf dem Bischofstuhle in Hildesheim saß aber zur Zeit des ersten Stiftsbrandes, der auch die Kirche zerstörte, der Bischof Othwin, der aus dem Kloster Reichenau hervorgegangen war[10]), so daß die Beziehungen zwischen beiden Klöstern vorhanden waren. Aus der Lage der Fenster geht aber ferner hervor, daß die Mauer einem Kreuzarme angehört haben muß, der sich vor dem Kreuzarm der ältesten Anlage, der crux commissa, gelegt hat, sowie, daß hier eine flache Decke vorhanden war. Das über den Rundfenstern noch erhaltene Hauptgesims besteht nur aus einer Platte mit weit ausladender Schräge, weicht von dem mit Fries und Abschlußglied ausgestatteten Hauptgesims des Langhauses (Abb. 20 Bl. 9) ab und weist in seiner Schlichtheit auf ein höheres Alter hin. Im Südgiebel des Querschiffs sind die Reste von vier romanischen Fenstern, in zwei Gruppen übereinander, erhalten, deren untere in der Höhe des Gurtgesimses beginnen, während die oberen den Fenstern des Mittelschiffs entsprechen. Auch in der Westwand dieses Kreuzarmes ist ein Fenster jener Gruppe freigelegt worden. Die oberen Fenster dürften mit den Mittelschiffenstern gleichzeitig entstanden sein, die unteren aber lassen auf einen Emporeneinbau schließen, wie ihn St. Michael in Hildesheim auch im östlichen Querhause besessen hat. Diese Annahme wird noch dadurch bestärkt, daß auch

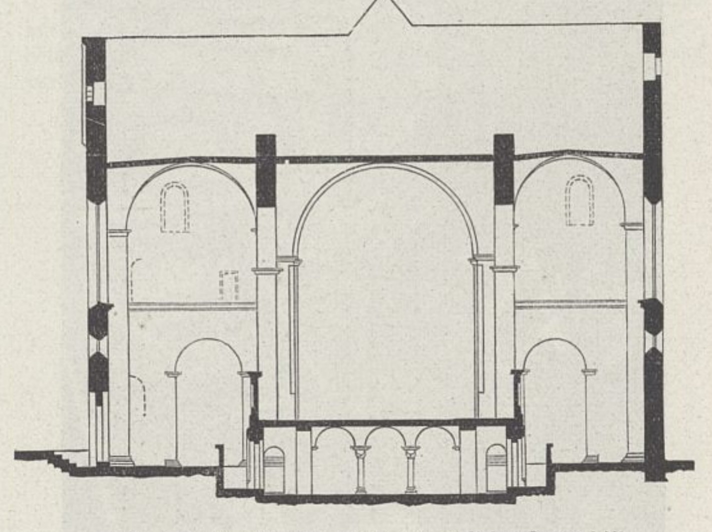


Abb. 11. Querschnitt durch das östliche Querschiff. Blick nach Westen. 1:300.

9) Denkmalpflege 1913, Seite 20.
10) Ad. Bertram, Geschichte des Bistums Hildesheim.

im Erdgeschoß in der Westmauer des Kreuzarmes ein altes Fenster gefunden ist, das teilweise durch den südwestlichen Gewölbeeckpfeiler des 12. Jahrhunderts verdeckt wird (Abb. 7 Bl. 8 bei *y* u. Text-Abb. 11); von außen war der Kreuzarm durch ein rundbogig geschlossenes Portal zugänglich, in dem vielleicht das jetzt über dem gotischen Eingang des südlichen Seitenschiffs befindliche Tympanon mit zwei Heiligenfiguren sich befunden hat (Text-Abb. 16). Im nördlichen Kreuzarm ist nur das obere Fenster der Westmauer erhalten; es läßt sich daher nicht sagen, ob auch hier ein Emporeneinbau vorhanden war. Die nach dem Brande 973 erbaute Kirche hat im wesentlichen bereits die Abmessungen des heutigen Bauwerkes gehabt; es dürfte auch kein Zufall sein, daß die Gesamtbreite des öslichen Ouerschiffs der Länge des Mittelschiffs — im südlichen Seitenschiff gemessen — entspricht.

B. Das Langhaus.

Das Schiff der Kirche läßt klar erkennen, daß die Mittelschiffmauern für sich nach einem der Brände ausgeführt sind; denn sowohl auf der Nord- als Südseite befindet sich am Zusammenstoß der Mauern mit dem westlichen Querhause einerseits und mit dem östlichen anderseits eine lotrechte durchgehende Fuge (Abb. 3 Bl. 8). Der Brand von 1153 kann für die Altersbestimmung der Mauern nur insofern in Frage kommen, als er das Ausweichen der Mauern von der Lotlinie, das Überhängen nach außen hervorgerufen haben kann; da nicht anzunehmen ist, daß der Baumeister des 12. Jahrhunderts eine solche Konstruktionswidrigkeit absichtlich ausgeführt habe. Die Mauer war also bei diesem Brande bereits vorhanden, was auch durch die Form des Hauptgesimses (Abb. 20 Bl. 9) bestätigt wird, das aus einer geraden Platte mit Schräge, einem schlichten 52 cm hohen Friese und einer aus Platte, Plättchen und Karnies bestehenden Abschlußleiste besteht. Es muß also die Mittelschiffmauer beiderseits bereits bei dem Brande um 1073 zerstört und für sich wieder aufgeführt worden sein, während beide Querschiffe von diesem Brande mehr oder weniger verschont geblieben sind. Diesem Zeitabschnitt sind auch die Säulen zuzuweisen, welche die Mauern tragen; wenigstens soweit sie das Würfelkapitell mit den Schnurverzierungen (Abb. 2 u. 3 Bl. 9) besitzen; zwei der Säulen auf der Nordseite haben Blätter-Bossenkapitelle (Abb. 1 Bl. 9) und stimmen, wie wir noch sehen werden, mit Kapitellen des älteren Westbaues überein.

Die Säulen haben die attische Basis mit Eckklauen; nur eine Säulenbasis der Nordseite der Einzelsäule zwischen zwei Pfeilern zeigt eine ausgesprochene Blattform (Abb. 3 Bl. 9). Die Kapitelle sind mit dem Karniesgesimse gekrönt; die Pfeilergesimse besitzen in Übereinstimmung mit den älteren Gesimsen der unteren Halle des Nonnenchors drei Plättchen, während die Gesimse der Säulen nur zwei Abschlußplättchen aufweisen; erstere dürften also dem Bauabschnitt nach 973 entnommen sein.

Auffallend ist die Verschiedenheit des Stützenwechsels der Mittelschiffmauern; während die beiden westlichen Joche auf jeder Seite zwei Säulen zwischen den Pfeilern haben, zeigt das östliche Joch nur eine Säule. Das Maß dieses Joches und nicht das des ersten Stützenwechsels geht in dem Längenmaß des Langschiffes auf, weshalb der Schluß berechtigt ist, der Plan des ersten Bauabschnitts der zweiten Kirche nach dem Brande von 973 habe durchgängig den Stützenwechsel von einer Säule zwischen zwei Pfeilern gehabt; diesen Stützenwechsel besaß der Dom in Goslar aus der ersten Hälfte des 11. Jahrhunderts, während Hezilos Dom in Hildesheim aus der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts und St. Michael daselbst den zweisäuligen Stützenwechsel aufweisen.

Abb. 12. Teilansicht der Nordseite (Kapitelstube)[11].

Über der Bogenstellung der Mittelschiffmauern befindet sich ein wagerechter Gurt, der auch schiffseitig an der Nonnenempore, sowie im westlichen Querschiff wiederkehrt; er zeigt ebenfalls die Karniesform mit zwei Abschlußplättchen. Über den Stützen ist der Gurt konsolartig ausgekragt, eine Anordnung, wie sie auch der Dom in

11) Die Text-Abb. 12, 16 und 17 sind nach Aufnahmen der Königl. Meßbildanstalt angefertigt.

Goslar[12]) gehabt haben soll. Auf den Konsolen sollen die in der Stiftssammlung vorhandenen Stuckfiguren gestanden haben. Diese haben aber nur eine Höhe von 80 cm und stehen in keinem Verhältnis zur Höhenlage des Gurtgesimses und den Abmessungen des Kirchenschiffes (Abb. 3 Bl. 8); sie werden daher an anderer Stelle gestanden haben.

Abb. 13. Nische in der Westwand des Nonnenchors. 1:50.

C. Der Westbau.

Das westliche Querschiff ist zweigeschossig und enthält im Obergeschoß die gewölbte Nonnenempore in der Breite des Mittelschiffes, zu beiden Seiten aber kleinere, flachgedeckte Räume, von denen der südliche von alters her als „Vision" bezeichnet wird, der nördliche aber als Kapitelstube gedient und mit den Stiftsgebäuden in unmittelbarem Zusammenhang gestanden hat (Abb. 3, 4 u. 6 Bl. 8). Die Kämpfer der drei unteren Bogenöffnungen der schiffseitigen Ostwand (Abb. 3 Bl. 8) liegen erheblich tiefer, als die Kämpfer der Säulen und Pfeiler der Mittelschiffmauern; sie zeigen die Höhenlage der Kämpfer des großen Neubaues nach dem Brande von 973 an. Die mit Halbsäulen besetzten Pfeiler „*d*" und „*e*" des Grundrisses (Abb. 7 Bl. 8) der unteren Nonnenempore sind mit den anschließenden Pfeilern der Bogenstellung der Mittelschiffmauern in Verband aufgeführt und gleichzeitig hergestellt; ebenso zeigt der entsprechende Anschlußpfeiler „*f*" der nördlichen Seitenschiffmauer Verband mit dieser Mauer, während auf der Südseite der Verband durch einen Pfeilervorbau des 15. Jahrhunderts in gotischen Formen gestört ist. Ferner stehen die Wandpfeiler „*a*" und „*b*" in der Verlängerung der Mittelschiffmauern mit der Westmauer des westlichen Querhauses in Verband.

In der Westmauer des Querschiffes sind in der Flucht der Seitenschiffmauern Fugen vorhanden (bei *g* u. *h* Abb. 7 Bl. 8), und zwar im nördlichen Raume unter der Kapitelstube in der äußersten, im südlichen unter der Vision in der inneren Flucht, so daß die von Adolf Zeller[13]) ausgesprochene Vermutung, die Seitenschiffmauern hätten bis zur Westwand des Kirchengebäudes (bzw. des westlichen Querschiffes), d. h. bis zu den Türmen gereicht, eine weitere Stütze erhält; da die Fugen aber erst auf beiden Seiten über Kämpferhöhe beginnen, wird man hier keine geschlossenen Mauern, sondern Bögen, vielleicht eine zweiteilige Bogenstellung, annehmen müssen. Die Fugen deuten aber ferner darauf hin, daß die ursprüngliche Westmauer weiter nach Westen zu gelegen bzw. die äußere Flucht der Seitenschiffmauern die Flucht der Turmunterbauten gebildet hat.

Im Oberbau des westlichen Querschiffes, der eigentlichen Nonnenempore, stoßen die in der Richtung der Mittelschiffmauern liegenden Scheidemauern, welche den Nonnenchor von den Seitenräumen trennen, stumpf vor die Westmauer des Querschiffes (bei *k* u. *k'* Abb. 6 Bl. 8), so daß sich hier auf jeder Seite eine durchgehende Fuge zeigt, während mit der dem Mittelschiff zugekehrten Mauer ein Verband vorhanden ist. Da die Seitenräume niedriger sind als die Nonnenempore, so stellen die Scheidemauern oberhalb der Dächer der Seitenräume Außenmauern dar, die, als Fortsetzung der Mittelschiffmauern und von diesen durch die lotrechten Fugen getrennt, in das Turmmauerwerk einbinden. Das Hauptgesims der Mittelschiffmauern griff jedoch nur zum Teil über die Scheidemauern hinweg, was seine Ursache darin haben kann, daß nach einem Brande im Jahre 1597, der die Kirche sonst nicht beschädigt zu haben scheint, das Mittelschiffdach als Schleppdach über die Seitenräume hinweggeführt ist, wie solches auf der Abbildung der Münsterkirche bei Merian (Text-Abb. 1), also

12) Kunstdenkmäler der Provinz Hannover. II. Regierungsbezirk Hildesheim, 1 u. 2. Stadt Goslar, S. 55.

13) A. Zeller, Die Kirchenbauten Heinrichs I. und der Ottonen. Berlin, Springer 1916, Seite 66.

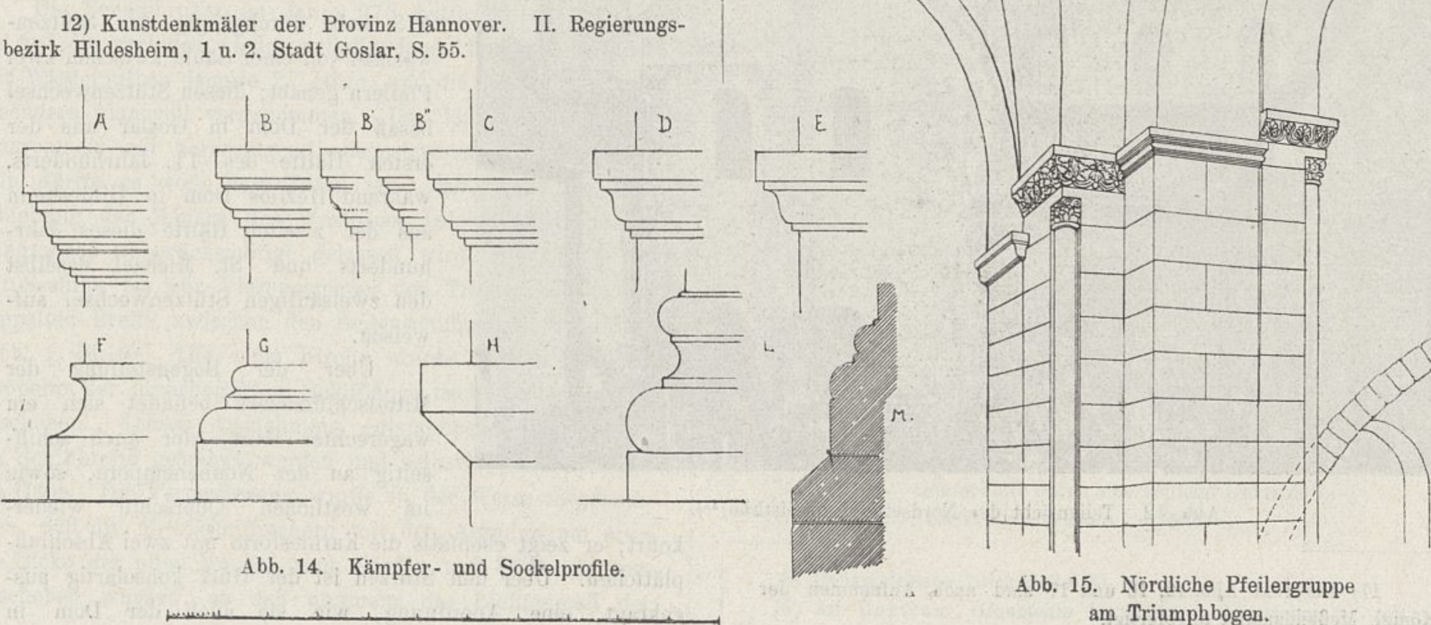


Abb. 14. Kämpfer- und Sockelprofile.

Abb. 15. Nördliche Pfeilergruppe am Triumphbogen.

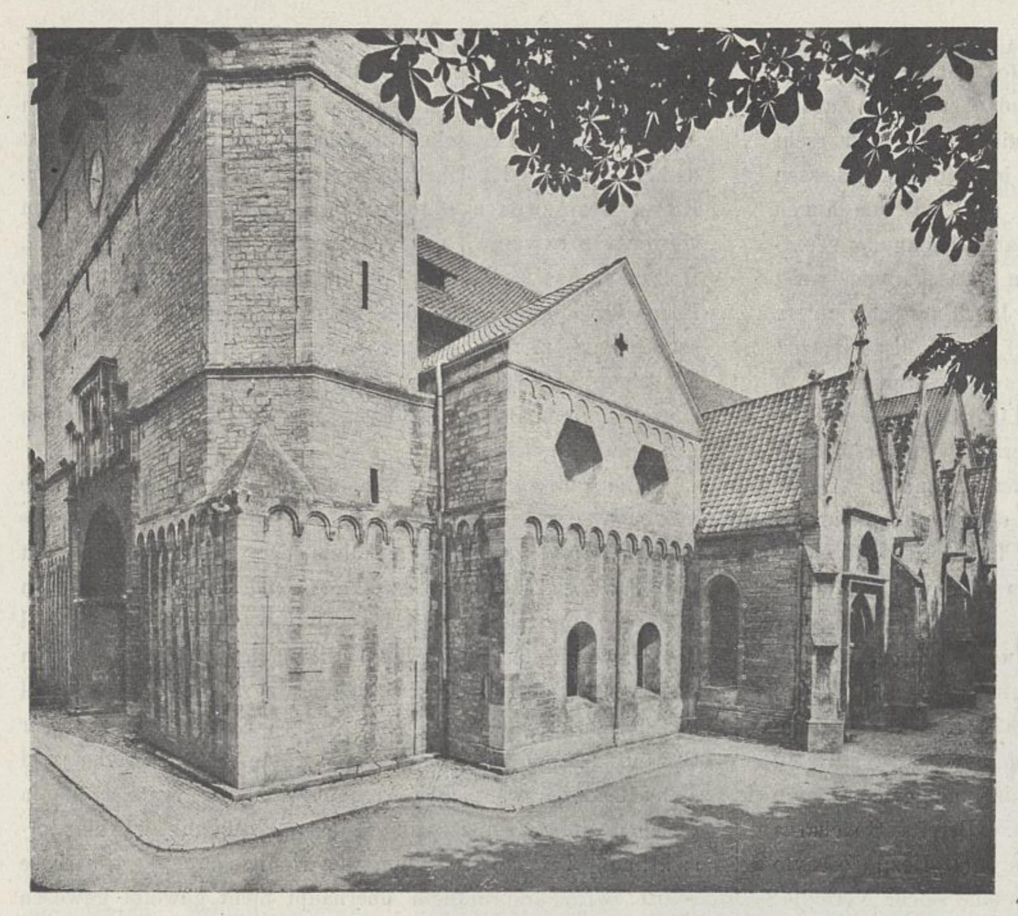


Abb. 16. Südwestseite der Kirche.

säulen bestehen aus einer kleinen Wulst mit schräg anlaufenden Plättchen und einer größeren Wulst über dem Sockel. Genau dasselbe Sockelprofil finden wir an den Pfeilern im Unterbau der Empore und an den Pfeilern mit Halbsäulen der schiffseitigen Ostwand des Westbaues; dann tritt es wieder an den Vierungspfeilern des östlichen Querschiffes (*G* Text-Abb. 14) und endlich auch als äußeres Sockelprofil der Hauptapsis über einer Schräge (*M* Text-Abb. 14) auf. Hierdurch wird weiter bewiesen, daß Westbau und Ostbau gleichzeitig aufgeführt sind, daß ferner die Höhenlage des Fußbodens der Nonnenempore dem gleichen Bauabschnitt angehört. Das wird endlich auch durch die Übereinstimmung der Kämpferprofile im Westen und Osten bestätigt. Der Kämpfer der älteren Pfeiler im unteren Westbau besteht aus Platte, Plättchen, Wulst[15]) und drei Plättchen (*B* bis *C* Text-Abb. 14); das gleiche Profil zeigt aber auch der Kämpfer der Pfeiler am Triumphbogen, der den Rest des alten Kirchenmauerwerks verdeckt (Abb. 5 Bl. 9 u. Text-Abb. 15). Neben dem wulstartigen Kämpferprofil tritt an den Kapitellen der Wandsäulen des unteren Westbaues eine mehr oder weniger steile Karniesform, aber stets von drei Abschlußplättchen begleitet, auf. Es ist schon darauf hingewiesen, daß auch die Pfeiler im Langschiff die gleiche Zahl Abschlußplättchen besitzen, hier aber von einem verhältnismäßig weit ausladenden Karnies bedeckt.

um 1654, bereits zu sehen ist. Nach der Beseitigung des baufälligen Schleppdaches über der Kapitelstube zeigte die äußere Scheidemauer in der Flucht der Mittelschiffmauer deutliche Brandspuren, deren Verlauf auf die ursprüngliche Dachgestaltung der Nebenräume schließen läßt. Danach besaßen die nördliche und südliche Außenmauer der Kapitelstube und der Vision einen Giebelabschluß mit Pultdach (Text-Abb. 12 u. 16), wie wir ihn an gleicher Stelle bei St. Pantaleon[14]) in Köln finden. Das Feuer muß längere Zeit innerhalb des Dachdreiecks gewütet haben, denn die Mauersteine sind der Dachneigung entsprechend in der Fläche vom Feuer abgesprengt; das Feuer scheint dann auf der westlichen Pultdachfläche durchgebrochen und in der Turmecke hochgeschlagen zu sein. Außerhalb der Dachneigung waren nur geringe Brandspuren vorhanden, auch zeigte der Fugenverstrich noch deutliche Quadereinritzungen des Mörtels mit der Kelle.

Da die oberen Scheidemauern als Außenmauern des westlichen Querschiffes in die Turmmauer einbinden, können die Fugen *k* und *k'* nur auf ursprünglich hier vorhanden gewesene Öffnungen gedeutet werden, die durch einen Umbau, der mit der Erneuerung des Langschiffes gleichzeitig entstanden sein muß, beseitigt sind; denn die Kapitelle und Basen der Teilungssäulen in den Öffnungen der Scheidemauern lassen auf diesen Bauabschnitt schließen. Dann ergibt sich für die Turmmauer und die Ostwand des westlichen Querschiffes ein höheres Alter. In der Mittelachse der Westwand der Nonnenempore befindet sich eine von Halbsäulen eingefaßte Nische (Text-Abb. 13), die zur Aufstellung eines Altars oder des Äbtissinnenstuhles gedient haben kann. Die Basen der Halb-

Der Kämpfer des Westportals (*A* Text-Abb. 14) ist reich gegliedert; jedoch besitzt er sowohl das Wulst- als Karniesprofil, aber nur zwei Plättchen als Trennungs- und Schlußglieder. Wenn ein Teil dieser Kämpfersteine auch einen alten Eindruck macht, so muß doch beachtet werden, daß der nischenartige Vorbau des Westportals erst nach 1838 entstanden ist und daß das aus Platte und großer Kehle bestehende Sockelprofil (*F* Text-Abb. 14) dem frühromanischen Bauabschnitt nicht wohl zugerechnet werden kann. Die auffallend starke Mauer des Westportals ist jedenfalls alt; sie bildete den östlichen Abschluß des im Jahre 1838 beseitigten Paradieses (Abb. 7 Bl. 8). Das Paradies (Text-Abb. 2) war zweigeschossig und in beiden Geschossen gewölbt. Entsprechend der starken Ostmauer im Erdgeschoß und der schwächeren im Obergeschoß war die obere Halle geräumiger als die untere. Der die Westmauer zwischen den Türmen tragende große Bogen hatte das an einer Stelle noch erhaltene Karnies-Kämpferprofil mit einem Abschlußplättchen (*E* Text-Abb. 14). Der Bogen trennte die obere Halle in zwei fast gleiche Teile; ob auch der hintere Teil gewölbt gewesen,

14) Dehio u. v. Bezold, Die kirchliche Baukunst des Abendlandes I. Tafel 43.

15) Bei dem einen Kämpfer ist die Rundstabform (Wulst) durch Abschleifen auf kurze Strecke verändert (B' Text-Abb. 14); als ursprünglich kann sie nicht angesehen werden.

ist fraglich. Wozu die Halle gedient hat, ist nicht bekannt[16]; die Nonnenempore liegt etwa 2 m tiefer, ein unmittelbarer Zugang zu derselben war nicht vorhanden, und der Zugang zu den Treppentürmen ist zwar anscheinend alt, aber recht umständlich. Der Druck der Gewölbe in beiden Geschossen hatte das Mauerwerk herausgeschoben und aus den Fugen getrieben[17]; nach der erhaltenen Aufnahmezeichnung (Text-Abb. 2) sind es Tonnengewölbe gewesen. Das Paradies weist in seinen äußeren Zierformen auf das 12. Jahrh. hin; der untere Bau läßt aber in seiner Schlichtheit auf eine frühere Bauzeit schließen, wie denn auch das Kämpferprofil des Bogens (*E* in Text-Abb. 14) der oberen Halle auf das 11. Jahrh. hinweist. Im Zusammenhang mit dem westlichen Querbau wird der unteren Paradieshalle sogar ein noch höheres Alter zukommen. Dieser Zeit sind auch die unteren Geschosse der Türme zuzurechnen. Eine Veranlassung, den Kern der Türme als von unten herauf polygonal oder rund, wie in Gernrode u. a. O., anzusehen, liegt nicht vor. Der Unterbau der Türme hat zwar im 12. Jahrhundert eine neue Verkleidung erhalten; deshalb brauchte aber die ursprüngliche Gestalt nicht geändert zu werden. Wie bei dem Azelin-Dome in Hildesheim, dem Dome in Goslar, St. Pantaleon in Köln usw. wird auch in Gandersheim der Unterbau von vornherein eine geviertförmige Gestalt für jeden Turm gehabt haben. Bereits Godehards Dom in Hildesheim hatte ein Paradies, und Hezilo erbaute zwischen den Türmen des Azelin-Domes eine solche Vorhalle; es hat daher etwas für sich, für das Münster in Gandersheim schon für den ersten Neubau der Kirche nach dem Brande von 973 ein Paradies anzunehmen.

Die fünf Gurtgesimse der Türme bestehen aus Platte und steiler Schräge; die beiden unteren besitzen aber unter der Schräge noch einen Rundstab. Zwischen diesen beiden Gurtgesimsen sind die Ecken mit scharfkantig vorspringenden Lisenen besetzt (Text-Abb. 16), und zwar so, daß der obere Gurt um die Lisenen gekröpft ist. Der untere Gurt zeigt keine Kröpfung, ein Beweis, daß die Eckstreifen weiter abwärts nicht vorhanden gewesen sind. Die Türme bilden bis zu dem zweiten Gurtgesimse einen einheitlichen Bau von gleicher Zeitstellung; die einfache Form der Gesimse und die Eckstreifen weisen auf das Ende des 10. Jahrhunderts nach dem Stiftsbrande von 973 hin; auch das folgende Geschoß der achteckigen Türme, welches dem Helmdach als Unterbau diente, dürfte noch in diese Zeit hineingehören, wenn schon das Mauerwerk dem folgenden Bauabschnitt angehört. Dagegen gehören der Zwischenbau mit der Glockenstube und die oberen Turmgeschosse einer späteren Zeit an, wobei zu beachten ist, daß auf der Hinterfront der Türme die Gurtgesimse am Zwischenbau fehlen (Abb. 2 Bl. 8) und nur der vierte Gurt als Hauptgesimse über der Glockenstube durchgeführt ist. Die Würfelkapitelle der Säulen der Turmfenster und der Schallöffnungen der Glockenstube besitzen die Schnurverzierung, wenn auch nicht in so ausgesprochener Weise, wie bei den Säulen des Mittelschiffs; die Säulenbasen tragen die klauenartigen Eckblätter.

16) Lenckfeld gibt in seiner Beschreibung des Stifts Gandersheim S. 53 vier Altäre an, S. Valentini et Primitini, S. Hieronymi, S. Marien- und S. Annen-Altar, die im Paradiese gestanden haben sollen.

17) Bericht des Kreisbaumeisters Bremer vom 19. Juli 1837.

Der Zwischenbau und die oberen Türme gehören hiernach dem Bauabschnitt nach 1073 an; da sie die letzte Bauarbeit vor der Fertigstellung des Kirchengebäudes gewesen sein werden, ist es selbstverständlich möglich, daß sie erst dem Anfang des 12. Jahrhunderts zugerechnet werden können. Hinter dem zweiten (älteren) Gurtgesimse und hinter dem vierten Gurt waren, der Achteckform der Türme folgend, Holzanker aus Eichenholz mit einfacher Überblattung an den Ecken vermauert. Die Anker hatten einen rechteckigen Querschnitt von 12 : 25 cm; sie waren im Laufe der Zeit bis auf einen kleinen Rest vollständig vergangen.[18]) An dem älteren unteren Bau sind Holzanker oder Hohlräume derselben nicht aufgefunden.

Die Fußbodenlage der Nonnenempore ist durch die Nische in der Westwand festgelegt; die Wölbung derselben und des unteren Raumes stammen aber aus späterer Zeit. Denn nicht nur, daß die das untere Gewölbe tragenden Mittelsäulen einen späteren Aufsatz erkennen lassen, besteht das Kämpferprofil des Gewölbeanfängers (Abb. 3 Bl. 8) aus Platte, Plättchen und Kehle, weist also im Gegensatz zu dem Karniesprofil der übrigen Kämpfer auf eine jüngere Entstehungszeit. Der Gewölbeanfänger liegt mit dem Kämpfer der Pfeiler und Halbsäulen der westlichen Abschlußwand des Mittelschiffs in gleicher Höhe, seine nachträgliche Einfügung ist klar ersichtlich. Der untere Raum der Nonnenempore, wie diese selbst, wird ursprünglich überhaupt nicht gewölbt gewesen sein, denn eine tiefere Kämpferlage, etwa in der Kämpferhöhe der Seitenräume, ist nicht denkbar (Abb. 4 Bl. 8). Das Kämpferprofil der Säulenüberhöhung (Abb. 21 Bl. 9) ist dasselbe, wie bei den Säulen des Langschiffs; die Kapitelle sind der Form des Würfels folgend mit Schnüren belegt, die attischen Basen mit Eckklauen besetzt. Die Säulen sind somit der Wende des 11. und 12. Jahrhunderts zuzuweisen. Dieser Zeit gehören auch die Kapitelle der Säulen der Nonnenempore an (Abb. 17 u. 18 Bl. 9).

Wie im Mittelraume, so können auch die Gewölbe der Seitenräume nicht ursprünglich sein; denn abgesehen davon, daß die Seitenschiffmauern bis zur Turmmauer geführt gewesen sein können, ist die durch die Wölbung hervorgerufene Verschiebung der Achse der Seitenräume, sowie die Stellung der Mittelsäulen zum Seitenschiff (Abb. 2 und Abb. 7 Bl. 8) als ursprünglich nicht denkbar. Auch hier werden flache Holzdecken für den ersten Bau anzunehmen sein. Vermutlich ist die Wölbung gleichzeitig mit der Wölbung des westlichen Querschiffs und der Seitenschiffe ausgeführt. Die Kämpfer der Säulen zeigen noch die alte wulstartige Karniesform (Abb. 9 Bl. 9), die Kapitelle (Abb. 9 Bl. 9) sind Blätter-Bossenkapitelle, wie solche an Hezilos Kirchenbauten in Hildesheim, in Essen und anderen Orten vorkommen; die Blätter der Vierpaßsäulen haben keine Mittelrippe und fallen steil

18) Vgl. Zentralblatt d. Bauverwaltung Jahrg. 1902 S. 384, 599, 633; 1903 S. 77, 92, 148; 1904 S. 157, 177; 1912 S. 582, 692; 1913 S 148 — Wie in anderen Fällen, so haben auch in Gandersheim die Hohlräume in dem Turmmauerwerk zum Verfall des Bauwerks beigetragen; erst nachdem durch eine gründliche Abklopfung des Mauerwerks die Hohlräume festgestellt und diese durch Beton gefüllt waren, haben die Risse im Mauerwerk nachgelassen. Die Grundmauern der Türme erwiesen sich als gut und der Untergrund als tragfähig. Auch in der von Gandersheim erbauten benachbarten Kirche zur Klus aus dem ersten Viertel des 12. Jahrh. sind die Hohlräume der Holzanker festgestellt

über. Die Basen haben Eckklauen (Abb. 10 Bl. 9); nur die im Kreuzungspunkte der Gewölbe stehenden Vierpaßsäulen (Abb. 9 Bl. 9) und die Halbsäulen und Pfeiler der Mittelschiffswand haben keine Eckblätter, erstere auch ein steileres attisches Basenprofil. Diese Basen sind die ursprünglichen, die anderen aber bei dem Einbau nach 1094 neu hinzugefügt.

Die schiffseitige Wand der Nonnenempore zeigt in den Einzelheiten manche Verwandtschaft mit den Säulen; nicht nur, daß die Sockel jene alte Wulstbildung besitzen, tragen auch die Kapitelle der Halbsäulen, der Pfeiler, aber auch der Halbsäulen und Teilungssäulen der oberen Öffnungen eine ausgeprägte Bossenbildung (Abb. 14 Bl. 9). Nur die Halbsäulen der mittleren Bogenöffnung sind mit vollständig ausgearbeiteten Akanthusblättern in zwei Reihen besetzt (Abb. 12 Bl. 9); die Ausführung weist wieder auf die Wende des 10. und 11. Jahrhunderts hin, der auch die Bossenkapitelle angehören. Nur die Kapitelle der nördlichen und südlichen Halbsäule der äußeren Bogenöffnungen fallen aus dem Rahmen; es sind ausgesprochene Würfelkapitelle (Abb. 16 Bl. 9) mit aufgelegten Schnurverzierungen. Wahrscheinlich sind bei dem Brande um 1073 die alten Kapitelle beschädigt und bei der Wiederherstellung der Kirche durch Würfelkapitelle in Übereinstimmung mit den Schiffsäulen ersetzt worden. Dem älteren Bau gehören zweifellos auch die Schneckenkapitelle der vor die Seitenschiffe tretenden Säulen an (Abb. 13 Bl. 9). Über den ursprünglichen Standort der Säulen läßt sich nur sagen, daß die Vierpaßsäulen auf einen durch Gewölbe oder Gurtbögen geteilten Raum schließen lassen; ob dieser in der Kirche oder in den Stiftsgebäuden zu suchen ist, steht dahin.



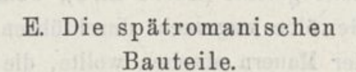
Abb. 17. Krypta.

Der Fußboden der Nonnenempore (Abb. 12 Bl. 5) bestand aus Kalksteinplatten mit Sollingsteineinlagen in Schachbrettmuster; ein Plattenstück ist erhalten geblieben.

D. Die Krypta.

Die unter dem Ostchor befindliche Krypta besteht aus zwei Räumen; der östliche, der Chorapside sich anschließende Raum ist von dem westlichen durch eine starke Mauer getrennt (Text-Abb. 17 u. Abb. 7 Bl. 8). Der westliche Raum ist rechteckig und reicht bis auf etwa die Mitte der Vierung; er wird durch sechs Säulen in zwölf Gewölbejoche geteilt. Drei der freistehenden Säulen haben jene schlichten Blätterkapitelle, wie wir sie bei zwei Kapitellen der Nordseite des Mittelschiffs gefunden haben; die übrigen besitzen ein ausgesprochenes Würfelkapitell mit Schnurverzierung und stimmen mit den Kapitellen des Langschiffs und der Türme überein. Die attischen Basen haben bis auf drei der nördlichen Reihe keine Eckklauen. Hiernach wird man für die vordere Krypta zwei Bauzeiten annehmen können. Die Säulenkämpfer haben die einfache Karniesform mit nur einem Abschlußplättchen; sie werden also mit der Wölbung dem zweiten Bauabschnitt angehören.

In der Trennungsmauer zwischen dem östlichen und westlichen Teile der Krypta befindet sich in der Mitte eine große Öffnung und zu jeder Seite derselben ein kleines romanisches Fenster (Text-Abb. 6 u. 17). Ursprünglich scheint die große Öffnung nur in der Breite der Bogenöffnung vorhanden gewesen zu sein; die Kämpfergesimse dieser Öffnung haben eine steilere Karniesform, als bei den Säulen, aber auch nur ein Abschlußplättchen; dann folgt beiderseits eine lange Schräge, die zu der größeren Öffnung überführt. Die attische Sockelform ist nur in der Breite der Mauer vorhanden und nach der Vornahme der Verbreiterung der Öffnung entstanden. Der hintere Teil der Krypta dürfte zur Aufnahme der Körper der Stiftsheiligen Anastasius und Innocentius gedient haben.



E. Die spätromanischen Bauteile.

Die Stephankapelle und die Marienkapelle neben dem Chor, die Kreuzarme des westlichen Querschiffs und die Seitenschiffe sind gewölbt, ebenso das Chorquadrat und die Vierung, und im Mittelschiff waren bis zur Wiederherstellung der Kirche in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Pfeiler vorhanden, welche die Wölbung des Mittelschiffs aufnehmen sollten (Abb. 7 Bl. 8). Daß die Wölbung nicht ursprünglich sein kann, ist bereits hervorgehoben und wird auch durch die Zierformen bestätigt. Es sind aber auch für diese Bauteile zwei Bauabschnitte leicht zu unterscheiden. Während die Gewölbepfeiler der genannten Kapellen und Kreuzarme scharfkantig vom Sockel bis zum Kämpfer emporstreben (Abb. 5 Bl. 8), sind sie im Chorquadrat und in der Vierung durch Ecksäulchen belebt, wie wir sie bei Kirchenbauten aus dem letzten Drittel des 12. Jahrhunderts in Niedersachsen, insbesondere in Braunschweig und Goslar häufig finden; und während die Gewölbekämpfer der Pfeiler in den Kreuzarmen aus einer schlichten Schräge bestehen, sind die übrigen Kämpfer reich mit Ornament und Blattwerk verziert (Abb. 4, 6 und 7 Bl. 9). Allerdings besitzen die ersteren das alte Sockelprofil mit der doppelten Wulst; aber die Sockel sind neu und lassen daher keinen bestimmten Rückschluß zu. Dagegen sind die Pfeilersockel in der Stephankapelle noch erhalten; sie bestehen aus einer Schräge mit aufgelegter Spitzenkante (Abb. 8 Bl. 9).

Die wandseitigen Kämpfergesimse des nördlichen Seitenschiffs verschwinden vollständig in dem bei den Wiederherstellungsarbeiten in der Mitte des vorigen Jahrhunderts zum Ausgleich der überhängenden Mauer stark auf-

getragenen Wandputz; sie bestehen aus Platte und steiler Schräge (*H* in Text-Abb. 14).

Die Grundmauern der den Mittelschiffpfeilern vorgelegten Gewölbepfeiler sind noch vorhanden (Text-Abb. 18); sie sind in Kalkmörtel ausgeführt, während die Grundmauern der alten Pfeiler in Lehmmörtel hergestellt sind. Nach der Aufnahmezeichnung haben auch diese Gewölbepfeiler Ecksäulchen und schrägplattige Kämpfer gehabt; sie waren jedoch nur bis zum Gewölbeansatz hochgeführt. Bei der schlechten Beschaffenheit der durch Feuer wiederholt beschädigten Mittelschiffmauern wagte man nicht, die Wölbung auszuführen; die erhalten gebliebene, bei der Wiederherstellung der Kirche im vorigen Jahrhundert beseitigte Ankerkette sollte wohl weniger zur Aufnahme des Gewölbeschubs, als zum Zusammenhalten der überhängenden Mauern dienen.[19]) Zur Ausführung der Wölbung hätte es aber auch an Konstruktionshöhe gefehlt (Abb. 3 Bl. 8), wenn man die Scheitellinien der Gewölbe wagerecht durchführen und von einer Überhöhung der Mauern absehen wollte, die auch bei dem bedenklichen Zustande nicht ratsam gewesen wäre. Die Wölbung des Chores, der Vierung und des Mittelschiffs, soweit sie zur Ausführung gekommen war, ist zweifellos nach dem Brande von 1153 anzusetzen; die Neuweihe fand 1168 statt, so daß hier die Einführung der Ecksäulchen früher zur Anwendung gekommen ist als bei dem Dom in Braunschweig, den Heinrich der Löwe 1173 begonnen hat. Die Wölbung der Chorseitenschiffe, sowie der Kreuzarme und der Langschiffseitenschiffe dürfte bereits in der ersten Hälfte des 12. Jahrhunderts erfolgt sein. Auf diese Entstehungszeit weisen auch die Reste der äußeren Bauteile hin, soweit sie als hoch- oder spätromanisch bezeichnet werden müssen. Die Außenmauern der Seitenschiffe sind zwar später durch gotische Kapellenanbauten verändert; auf der Nordseite ist aber noch so viel von der romanischen Zierweise erhalten geblieben, daß es nicht schwer hält, den Zustand der Kirche im 12. Jahrhundert zu erkennen.

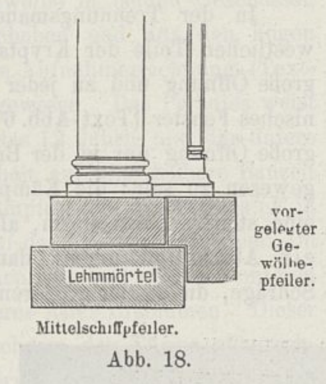


Abb. 18.

Die kleinen romanischen Fenster der Seitenschiffe entsprachen den Fensterachsen der Mittelschiffmauern; zwischen je zwei Fenstern ist ein schlankes Halbsäulchen eingelegt, dessen Würfelkapitell einen auf Konsolen ruhenden, zweifach abgesetzten scharfkantigen Rundbogenfries (Abb. 19 Bl. 9 und Text-Abb. 12) trägt, über dem eine mit laufendem Blätterfries versehene schräge Deckplatte ruht. Die verhältnismäßig geringe Stärke der Seitenschiffmauer und die Ausführung der Wölbung des Seitenschiffs läßt darauf schließen, daß die Mauern mit der reichen Zierweise wenigstens von den Grundmauern ab vollständig erneuert, daß also die Zierformen nicht einfach vorgeblendet sind. Dasselbe gilt auch bezüglich des südlichen Seitenschiffs, obgleich dieses durch die gotischen Kapellen noch mehr verändert worden ist. Ein Stück des Rundbogenfrieses ist hier oberhalb der gotischen Kapellen noch erhalten. Vom nördlichen Seitenschiff führte eine Tür in den Kreuzgang (Text-Abb. 12).

19) Nach Leuckfeld Seite 60 hat die Kette zur Aufhängung einer Lichterkrone gedient.

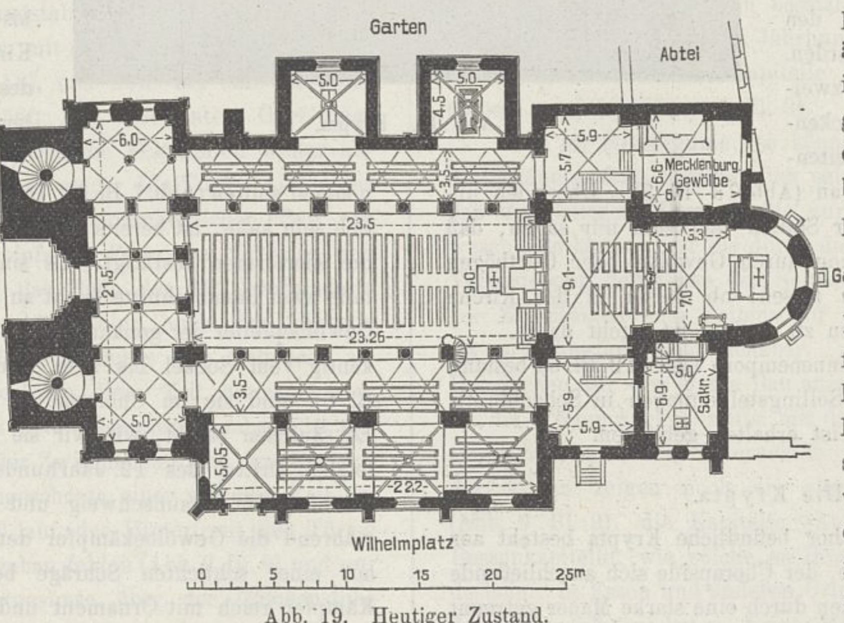


Abb. 19. Heutiger Zustand.

Um das Äußere des westlichen Querhauses und der unteren Turmgeschosse nebst dem Obergeschoß des Paradieses in Übereinstimmung zu bringen, wurden die Mauern in der neuen Zierweise verblendet; sie treten infolgedessen im Erdgeschoß stärker vor und sind oberhalb des Rundbogenfrieses mit einer Wasserschräge abgedeckt.

Das östliche Querschiff blieb im Äußern von dieser Umwandlung verschont; wohl aber hat man an der Chorapsis den Versuch gemacht, die gleiche Zierweise einzufügen; auf der Südseite des Chors, dort wo die alte Kreuzschiffmauer sich abzweigte (Text-Abb. 8), ist noch der Rest eines Wandsäulchens mit Sockel vorhanden.

F. Die gotischen Bauteile.

Die Bedeutung dieser Bauteile tritt hinter die besprochenen romanischen sehr zurück. In der ersten Hälfte des 15. Jahrhunderts wurde auf der Südseite der Kirche eine Erweiterung durch den Anbau von Kapellen vorgenommen. Die älteste dieser Kapellen ist Johannes dem Täufer geweiht (Abb. 7 Bl. 8); die Rippen der Gewölbe besitzen noch das Birnenprofil mit vortretender Nase. Dann folgte als selbständiger Bau, auch in seinen Umfangswänden, die Bartholomäuskapelle, und endlich wurde 1439 die Seitenschiffmauer in den beiden westlichen Gewölbeachsen durchbrochen, um Raum für eine Peter-Paulkapelle zu erhalten, die somit aus zwei Jochen bestand und den Ausbau der Südseite zwischen den Querschiffen zur Vollendung brachte; die Gewölberippen sind einfach gekehlt. Die dicken Mauern der Bartholomäuskapelle sind ursprünglich Doppelmauern, von denen die äußeren den benachbarten Kapellen angehören. Bei der Wiederherstellung der Kirche im 19. Jahrhundert sind die Mauern zwischen den Kapellen beseitigt, so daß jetzt die dicken Mauern in ihrer Gesamtstärke zum Ausdruck kommen (Text-Abb. 19). Die Kapellen erhielten durch die Beseitigung der Zwischenmauern das Aus-

sehen eines besonderen Seitenschiffs. Auf der Nordseite wurde zuerst die Andreaskapelle und dann 1452 die dem heiligen Antonius geweihte Kapelle angebaut.

G. Schlußbetrachtung.

Vergegenwärtigen wir uns zum Schluß den Werdegang des Gandersheimer Münsters nach den vorstehenden Ermittlungen, so ergibt sich kurz folgendes.

1. Um 850 Verlegung des Klosters von Brunshausen nach Gandersheim. Die hier von den Stiftern, Herzog Ludolf von Sachsen und seine Gemahlin Oda, errichtete Kirche war eine massive Basilika nach Art der crux commissa, ohne Krypta und in allen Teilen mit Holz gedeckt. Nach 881 Abschluß der Kreuzarme gegen das Chorquadrat.

2. 973 Zerstörung der ersten Kirche durch Feuer. Großzügiger Neubau durch Verlängerung der Kirche um das Doppelte und Verbreiterung des Mittelschiffs auf Kosten der Seitenschiffe. Krypta unter dem Chore. Einfügung eines östlichen und eines westlichen Querhauses. Einfacher Stützenwechsel im Langhause (eine Säule zwischen zwei Pfeilern). Die Lichtöffnungen bestanden nach dem Reichenauer Vorbilde aus kreisrunden Fenstern. Die Decke war in allen Teilen flach aus Holz hergestellt. Im Westen war den Türmen eine Vorhalle sog. Paradies vorgelagert. Die Türme gehen von einem rechteckigen Unterbau in das Achteck über; Eckleisten.

3. Zwischen 1063 und 1094, also etwa um 1073 zweiter Münsterbrand; Ostbau und Westbau bleiben erhalten, die Langhausmauern werden vollständig zerstört. Wiederaufbau dieser Mauern mit einem anderen Stützenwechsel (zwei Säulen zwischen zwei Pfeilern); nur im letzten, östlichen Felde der alte Stützenwechsel. Wölbung der Kreuzarme, der Seitenschiffe und des Westbaues. Umbau der Krypta. Höherführung der Türme bis zur jetzigen Höhe und Einbau der Glockenstube zwischen den Türmen.

4. Um 1153 dritter Münsterbrand; die Mittelschiffmauern bleiben erhalten, werden aber aus der Lotlinie gedrängt. Verankerung dieser Mauern. Wölbung des Chorquadrats, der Vierung und Pfeileranlage zur Wölbung des Mittelschiffs.

5. Erste Hälfte des 15. Jahrhunderts Anbau der Kapellen an den Seitenschiffen.

Altar und Kanzel der Kirche in Gartz a. d. Plöne.

(Mit Abbildungen auf Blatt 10 im Atlas.)



In dem durch seine landschaftliche Schönheit und durch seinen fruchtbaren Boden bekannten Kreise Pyritz in Vorpommern liegt das Rittergut Gartz, zu dem das Kirchlein (Abb. 1) gehört, dessen unscheinbares Äußere zwei herrliche Kunstwerke der Holzschnitzerei birgt. Das genaue Alter der Kirche ist nicht festzustellen, doch kann man mit ziemlicher Sicherheit ihre Entstehung in die Zeit der ersten Christentumverkündigung in dortiger Gegend verlegen, da ja der erste Christentumbringer Bischof Otto v. Bamberg in Pyritz erschlagen wurde. Auf das hohe Alter der Kirche deuten nur noch die sehr dicken Umfassungsmauern aus Findlingen und die jetzt überputzten Backsteingiebel mit den halbverfallenen Pfeilerchen. In den Schrecken des Dreißigjährigen Krieges scheint die Kirche ganz ausgeraubt und ausgebrannt worden zu sein. Urkundliche Nachrichten stammen erst aus dem Jahre 1688, wo ein größerer Umbau stattgefunden hat, dem die Kirche ihre jetzige Gestaltung verdankt; dann ist sie 1740 nochmals umgebaut worden. Der erste Umbau hat der Kirche auch den schönen Altar und die schöne Kanzel beschert. Beides Stücke, die in ihrem reichen ornamentalen Schmuck in der dortigen Gegend ganz vereinzelt dastehen. Wahrscheinlich hat beide Stücke der damalige Besitzer von Gartz auf seinen Kriegsfahrten aus dem südlichen Deutschland in seine nordische Heimat gebracht und in seiner Gutskirche zusammenbauen lassen. Denn der Zusammenbau und die dazu notwendigen Ergänzungsarbeiten zeigen eine rohe und ungeübte Hand gegenüber den überaus kunstvollen Schnitzereien.

Der Altar (Abb. 1 bis 5 Bl. 10) läßt in der Hauptsache das Holz in seiner natürlichen Farbe sehen, zum Teil sind verschiedene Hölzer als Furnierung verwendet; es war mir nicht möglich, die Holzarten mit Bestimmtheit festzustellen. Es kann Birn- oder Kirschbaumholz sein, auch Ahorn und Esche ist dabei verarbeitet. Jedenfalls ist es kein Eichen- und kein Kiefernholz. Die Hölzer zeigen jetzt ein wunderbar leuchtendes, an altes Gold erinnerndes Braungelb. Der Grund der mit Blattwerk geschmückten Wellenprofile, der Füllungen und der Säulen ist schwarz gefärbt, von diesem dunklen Grunde heben sich die Ornamente goldig leuchtend ab. Schwarz sind auch die Leisten um die Umrahmungen der Bilder, die in größerem Maßstabe wiedergegeben sind (Abb. 2 u. 3 Bl. 10). Diese Leisten sind sehr fein profiliert und gewellt in der Weise, wie sie jetzt häufig bei neuzeitlichen Tischlerarbeiten als

Füllungsumrahmungen u. dergl. verwendet werden. — Die Kanzel (Abb. 6 bis 8 Bl. 10) zeigt in ihrer Ausführung dieselbe Art wie der Altar. Hier fällt es nur auf, daß einzelne Teile, die reichen Ornamente am unteren Teil der Kanzel und die am Schalldeckel, auch das hervorragend schöne Wandstück, das die Kanzel mit dem Schalldeckel verbindet, farbig sind, und zwar von graugrüner Farbe, während der die Kanzel tragende David und die übrigen Figuren und Engelsköpfe, mit Ausnahme der vier Evangelisten in den Nischen der Kanzelbrüstung, bunt nach der Natur bemalt sind. Die Säulen an der Kanzelbrüstung sind dadurch besonders bemerkenswert, daß sie gedrehte Schäfte mit Schwellung haben. Auch an diesem Prachtstück der Holzschnitzerei ist durch schwarze Färbung der ovalen Flächen in der Ornamentumrahmung, der Säulenschäfte und der Profilleisten eine sehr lebhafte Wirkung erzeugt. v. Saltzwedel.

Das Grabmal Theoderichs des Großen in Ravenna und seine Herleitung aus der germanischen Holz- und Flechtbaukunst.

Vom Geheimen Baurat Prieß in Koblenz.

(Schluß.)

Ein reiches Beispiel für die vielfache Verwendung von Flechtformen bietet noch das Portal der Schottenkirche in Regensburg (Abb. 41). Es paßt im Steinverbande, Aufbau und Reichtum nicht zu der jetzigen etwa 1180 erbauten Kirche und muß von einem älteren Bau hierher übernommen worden sein. Flechtformen zeigen sich an den Säulenschäften, der Türumrahmung, an dem Kämpfergesims auf der linken Seite und den Pfeilerköpfen darunter, sowie an der untersten und obersten Rundbogenreihe. Bei der Bildhauerarbeit ist hier dem Meißelschlage vielfach durch dicht nebeneinandergesetzte Bohrlöcher vorgearbeitet worden, wie man dies zweckmäßigerweise bei der Holzbildhauerei tut. Von den kleinen männlichen Figuren unten vor dem Ablauf der Profile an den Ecken zwischen den Portalsäulen, welche wohl die Werkmeister vorstellen sollen, haben daher einige einen großen Bohrer senkrecht vor sich stehen, auf dessen oberes Querholz sie die Hände stützen. Die innere Figur auf der rechten Seite zieht dagegen, wie die Abbildung erkennen läßt, die beiden Seile einer Profilierung, deren Mitte eine Kehle bildet, sich über die Schultern herunter und gibt so klar zu erkennen, daß es sich hier ursprünglich nicht um steife Rundstäbe, sondern um schmiegsame Seile und die Herleitung aus der Flechtkunst handelt. — Ein hölzerner Kirchenstuhl aus der Universitätssammlung in Kristiania (Abb. 42) mag noch nachweisen, wie die Flechtformen auch bei hölzernem Hausgerät teilweise als Vorlage gedient haben. Von den unteren Fußleisten bis zur Sitzfläche sind die Seiten mit hölzernen Docken oder balusterähnlich ausgeschnittenen Brettern ausgesetzt. Auf ganz ähnlichen, offenbar in Holz gedachten Stühlen sitzen die beiden Richter aus dem Hause der Amaler rechts und links unten am nördlichen Portal der Markuskirche (Jahrg. 1915 Bl. 8 Abb. 1), und auch dem Sieger beim Wettschwimmen in der Darstellung des Monats August am Hauptportal derselben Kirche (ebenda Bl. 9 Abb. 3) hat man einen ähnlichen aus Holz hergestellten und reich mit Flechtformen verzierten Sessel hingestellt. Er ist nach denselben Grundsätzen gebildet wie der hier abgebildete Stuhl aus Skandinavien, der Urheimat der Goten. Zum Teil wegen dieser Ähnlichkeit mit frühen Werken des gotischen Volkes ist das Bild hier wiedergegeben. Der Stuhl wird ferner aber auch für die spätere Behandlung des Innern des Theoderichgrabes noch Bedeutung gewinnen.

Abb. 40. Geschnitztes Kirchenportal aus Aal in Norwegen.

Bei diesem Zurückgreifen auf skandinavische Kunst können ferner die reichen Flechtmuster nicht übergangen werden, die die kleinen schmalen Eingangstüren so mancher nordischen Holzkirche zieren, und von denen Abb. 40 ein Beispiel zeigt. Auch hier werden wir die Beeinflussung aus der alten Flechtbauweise zu suchen haben. Beim Flechthause machte man offenbar zum Schutze gegen Witterung und Feinde, sowie um den Flechtverband zur Schonung seiner Festigkeit möglichst wenig zu unterbrechen, die Türöffnung so klein als nur irgend angängig. Außerdem mußte natürlich auch das Türloch der Haltbarkeit des Ganzen wegen durch ein besonders dichtes Geflecht umschlossen werden. Die Notwendigkeit der Kleinheit der Tür und der dichten Umflechtung wird besser als durch viele Worte unmittelbar durch die Abb. 43, das Bild eines Kaffernpontoks nachgewiesen, und dies Bild, mag der Gegenstand auch etwas ferne zu liegen scheinen, ist doch aus diesem Grunde hierher gesetzt. In Europa gibt es so urtümliche Flechthäuser eben nicht mehr. Die Flechtweise der Wände ist hier ganz ähnlich wie beim Zopf der oberen Tür des Theoderichgrabmals und beim Schachbrettfries ausgeführt, wenn auch wieder ein ganz anderes

Muster dabei herauskommt. Auch hier darf man die mit Ruten durchflochtenen Wände wohl als genäht bezeichnen, und bei Herstellung der Naht ist mit der Rute immer auf der Vorderseite ein ganzer Stich vorwärts und dann auf der Rückseite schräg ein halber zurück gemacht. Das ganze Feld, in dem die kleine Türöffnung ausgespart ist, ist dann dicht und fest umflochten. Damit das Haus vom Winde nicht umgeworfen und fortgerollt wird, wird gewiß irgendwo, etwa in der Mitte, ein starker in die Erde eingegrabener Pfahl angeordnet sein, an den sich oben die Dachhaut mit ihren Ruten und Stöcken anschließt.

Bei dem Beispiel aus Skandinavien, der Kirchentür von Aal in Hallingdal (Abb. 40), zeigte das vorbildliche Flechthaus offenbar auch die dichte Umflechtung des ganzen Türfeldes, und diese ist in reichster Form hier beim Holzbau nachgeahmt. Die Pfosten, die dem Hause Halt gegen Sturm geben sollen, und die wir ähnlich auch beim Theoderichgrabe finden werden, sind hier neben der Tür angeordnet, reich mit Ruten umflochten und dadurch fest mit dem Ganzen verbunden. Zugleich werden diese Pfosten aber auch die Türflügel zu tragen gehabt haben[36]) Als Abwehrzauber gegen alles Böse laufen die Enden der umflochtenen Ruten in Drachen aus, von denen fünf ihre Rachen oberhalb des Türsturzes abweisend aufsperren, während zwei andere von den Knäufen der Pfosten her drohen. Welch ein Reichtum germanischer Gestaltungskraft findet sich in einem derartigen Portal vor, während die Kaffernhütte jeder Kunstform entbehrt. — Aus den obigen Beispielen haben wir gesehen, wie sich ein unerschöpflicher Formenschatz von der germanischen Holz- und Flechtbaukunst in die mittelalterliche Kunst der Ost- und Westgermanen, die man nun einmal byzantinisch und romanisch genannt hat[37]), ergießt und sie befruchtet. Solchen Großtaten des Germanentums gegenüber hält sich im allgemeinen die heutige Wissenschaft beide Augen krampfhaft zu, damit sie nur ja nichts hiervon zu sehen braucht, und behauptet, daß die mittelalterlichen Formen nur weitere Ausbildungen der wenigen von der Antike her übernommenen Schmuckformen seien. Weiter als deutsche Gelehrte gehen hierin wohl noch die skandinavischen. Nun soll zwar nicht geleugnet werden, daß in denjenigen Ländern Europas, in denen sich Bauwerke der Griechen oder Römer vorfanden, auch ab und an unmittelbare Nachahmungen der

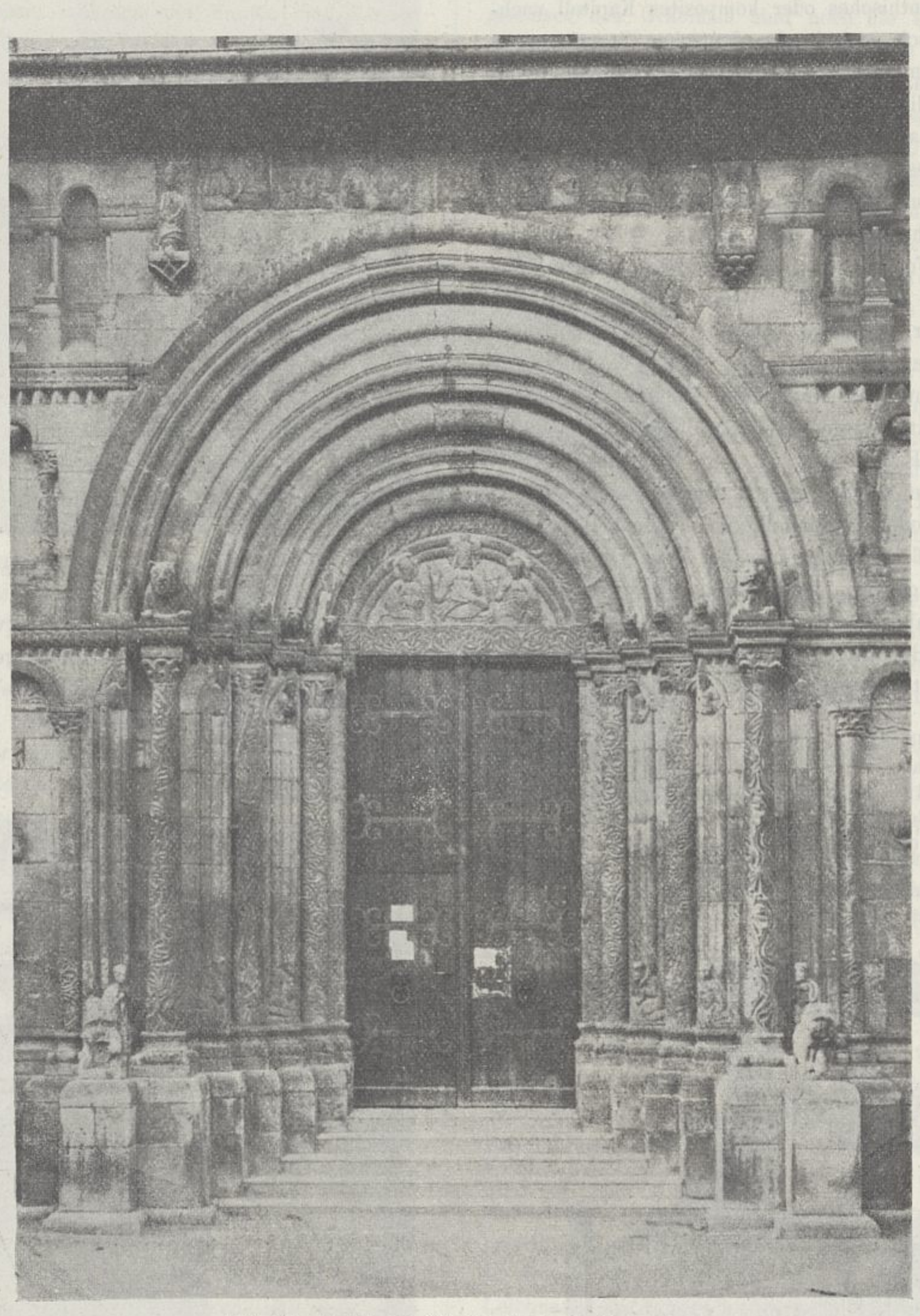


Abb. 41. Portal der Schottenkirche in Regensburg.

36) Solche Tür- und Haltepfosten sind in sehr anschaulicher, aber ganz einfacher Weise auch beim Portal der Kirche auf Frauenchiemsee in Bayern, aus dem 11. Jahrh. stammend, im Steinbau nachgebildet. Die Einfassung von Türen wird heute noch Gewände oder Fasche genannt. Das erste Wort wird aus Winden oder Gewinde, das zweite aus dem lateinischen fascia (Bündel), fascis (Binde) sprachlich herzuleiten sein.

37) v. Rumohr warnt schon bei Besprechung von S. Marco in Venedig (Italienische Forschungen, Berlin 1827) vor dem zuweit gehenden Gebrauch der Bezeichnung byzantinisch, indem er sagt: „Die Aufnahme einzelner und sehr untergeordneter Eigentümlichkeiten der späteren byzantinischen Bauart dürfte uns doch nicht gänzlich berechtigen, die Bauart, in welcher ein solcher Anflug sich zeigt, die byzantinische zu nennen. Als eine willkürliche folgenlose Benennung dürfte sie zu dulden sein. Doch geben solche grundlosen Kunstworte häufig die Veranlassung zu falschen Schlüssen und Meinungen, welche, wenn sie einmal den Charakter des Vorurteils angenommen haben, der Wahrheit im Lichte stehn und selbst über das Handgreiflichste verblenden.“ Wie sehr v. Rumohr hiermit Recht hatte, zeigt die weitere Entwicklung der Kunstgeschichtsforschung im vorigen Jahrhundert und bis heute.

Kunstformen dieser Völker vorgekommen sind. Wenn ferner in anderen Ländern die Künstler schon in unendlich vielen Formen Neues schufen und irgendein Künstler diese Formen noch durch eine weitere neue bereichern wollte, so ist er auch wohl einmal auf den Gedanken gekommen, eine antike Form, z. B. ein korinthisches oder komposites Kapitell nachzuahmen. Läuft doch auch in der deutschen Sprache manches Lehn- und Fremdwort mit unter, ohne daß man darum behaupten dürfte, die deutsche Sprache sei der lateinischen oder griechischen nachgebildet. Von diesen einzelnen Ausnahmen[38]) aber abgesehen, beweisen die obigen Ausführungen die Schulung der mittelalterlichen Meister der Frühzeit in der Holz- und Flechtbaukunst ihres eigenen Volkes und die Herübernahme der Formen dieser in die Steinbaukunst. Wie sollte es auch wohl anders sein? Wenn ein Handwerker bis dahin in Holz- oder Flechtbau gearbeitet hatte, so mußten ihm dieselben Formen ganz von selbst wieder in die Hände fließen, wenn ihm nun mit einem Male Meißel und Hammer in die Hand gedrückt wurden und er in Stein arbeiten sollte. Vorlagewerke und Bauschulen, an und in denen er sich bilden oder verbilden konnte, gab es damals noch nicht. Ja sogar das Zeichnen oder das Modellieren in Ton hatte er niemals gelernt. Gewiß wird daher mancher Meister und Geselle in der Zwangslage gewesen sein, wenn er ein Vorbild für seine Meißelarbeit haben wollte, sich dieses selbst in Flechtwerk herzustellen. Hiervon gibt einerseits manche ungeschickte und nüchterne Flechtwerknachbildung die nötigen Beispiele[39]),

38) Es sei hier z. B. auf die eigenartigen Nachbildungen von kompositen Kapitellen in Walkenried und im Bischofsgang des Magdeburger Domes hingewiesen. Abb. bei Pfeifer im Jahrg. 1914, S. 104 d. Z.

39) Sehr gute Beispiele der Arbeit nach dem offenbar geflochtenen Modell gibt die alte in Backsteinrohbau ausgeführte Kirche in Jerichow etwa aus dem Ende des 12. Jahrh. Die Beispiele aus der Quedlinburger Schloßkirche (Abb. 36 u. 37) dürften in dieser Beziehung auch überzeugend wirken.



Abb. 42. Alter geschnitzter Kirchenstuhl aus der Universitätssammlung in Kristiania.

anderseits ist es aber überhaupt schwierig, ein einigermaßen zusammengesetztes Flechtmuster beim Zeichnen auf einer Fläche, sei es ein Blatt Papier, ein Brett oder eine Wand, geschickt zu erfinden. Bei den Geflechten laufen die Stränge vielfach in den verschiedenartigsten Windungen und Verschlingungen durcheinander, und der Flechtzug zieht sich häufig ohne Unterbrechung herauf und herab, quer und krumm, jetzt ganz ans Ende des Musters eilend, dann plötzlich wieder zum Anfang zurückkehrend, so daß es fast unmöglich erscheint, etwas Derartiges allein auf der Fläche zu entwerfen. Flicht man sich aber selbst das Muster in irgendeinem geeigneten Werkstoffe vor, so ist die Erfindung schon viel leichter, und das Gesetz, daß ein Flechtstrang nicht plötzlich abgeschnitten werden und aufhören darf, um an anderer Stelle



Abb. 43. Flechthaus (Pontok) eines Zulukaffern.

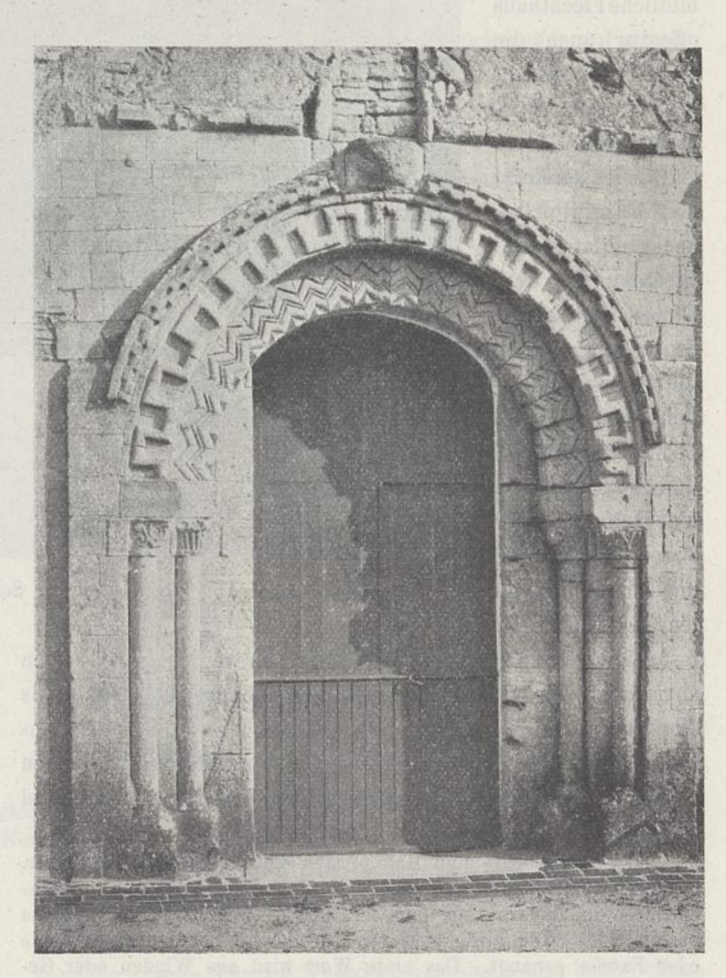


Abb. 44. Kirchenportal aus Viennes (Normandie).

wieder neu zu beginnen, sondern möglichst durch das Ganze hindurchlaufen muß, ergibt sich hierbei von selbst. Bei den Germanen wird es nicht anders gewesen sein, wie bei denjenigen Volksstämmen, die sich heute noch mit der Flechtkunst beschäftigen: Die Männer flechten im allgemeinen die Hütten und Häuser, während die Frauen und Kinder mehr die kleineren Gegenstände, Körbe, Matten, Behälter, Fischreusen, Gefäße usw. herstellen. Das ganze Volk nahm daher mit seiner vollen Erfindungsgabe an der Schaffung der Formen teil, und bei den Germanen, insbesondere bei den skandinavischen, wo im Winter der Tag nur ganz kurz ist, wird wohl in jedem Holzhause oder in jeder Flechthütte beim Scheine des Kienspanes manches aus Holz geschnitzelt oder aus Ruten und Bast zusammengeflochten und gebastelt worden sein, was später seine Verwertung und weitere Ausbildung im mittelalterlichen Holz- und Steinbau fand. Überhaupt muß gerade die Erfindungskraft und der Schönheitssinn des ganzen Volkes durch eine Kunst wie die Flechtkunst, bei der sich Vielseitigkeit der Formen und eine schöne schwungvolle Linienführung fast von selbst ergeben, in hohem Maße angeregt werden. Es ist dies in viel höherem Maße der Fall als bei der Schulung des Volkes in der reinen Holzbaukunst. Wie viel nüchterner als die vorher gegebenen Beispiele wirkt ein Portal aus der Normandie, ein Werk, das fast nur die Nachbildung der Holzbaukunst zeigt (Abb. 44). Die Normannen hatten ihre nordische Heimat erst um viele Jahrhunderte später verlassen als die Goten. Die Flechtbaukunst muß damals bei ihnen kaum mehr Sitte gewesen sein. Daher zeigen sich an dem normannischen Werke, dem Portale aus Viennes, im wesentlichen nur Holzformen, und wo einige Flechtformen auftreten, wie z. B. an den Säulenkapitellen, da sind sie in Erfindung und Ausführung höchst kümmerlich und dürftig. Der Ausdruck hölzern ist hier nicht unberechtigt.

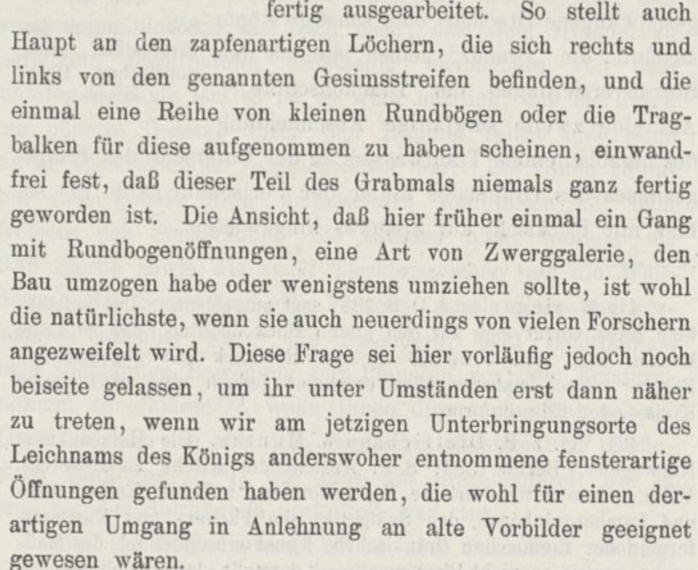


Abb. 45. Gurtgesims vom Grabmal Theoderichs des Gr.

Wenn wir nun in späterer Zeit immer wieder Flechtformen auftreten sehen, so brauchen diese nicht stets unmittelbar der Flechtkunst entnommen zu sein, sondern sie werden vielfach nur der altgewohnten Schulung und Überlieferung des Volkes entsprochen haben, die von einem Geschlecht zum andern immer wieder weitergegeben wurden.

Kehren wir nach dieser Sonderbetrachtung über die Flechtbaukunst zum Theoderichgrabmal, dessen der Flechtkunst entnommener Hauptgesimsschmuck uns zum näheren Eingehen auf dieselbe veranlaßt hatte, zurück. Am Grabmal des ersten mittelalterlichen großen Herrschers, der sich durch Bau- und Schaffenslust auszeichnete, an dessen Grabmal annähernd zum ersten Male und in deutlicher Gestalt die neuen Formen verwendet wurden, dessen Bauwerke ferner, damals noch als solche bekannt und hoch berühmt, Karl dem Großen und vielen späteren mittelalterlichen Herrschern bei ihren Bauten als Vorbilder vor Augen standen[40]), mochte ein derartiges näheres Eingehen auf den Ursprung und die Quellen der mittelalterlichen Baukunst wohl am Platze sein.

An eigenartigen Kunstformen unterhalb des Hauptgesimses des Grabmals sind noch die kleinen wagerechten Gesimsstreifen zu behandeln, die die rechteckigen, rings am Gebäude in Höhe der oberen Eingangstür angebrachten Nischen oben unter den Rundbögen abschließen. Sie sind aus Abb. 2 ersichtlich und in Abb. 45 größer dargestellt. Unten zeigen sich kleine viereckige Bossen, die etwa wie Köpfe von Holznägeln aussehen, aber nicht fertig ausgearbeitet zu sein scheinen. In dem Gesimsstreifen darüber finden sich dagegen, gleichfalls nicht ganz fertig ausgearbeitet, die runden gedrehten Scheibchen wieder vor, die wir beim Hauptgesims als ins Flechtwerk übertragene Dachstockköpfe kennen lernten. Von diesen Scheiben ziehen sich in schräger Richtung Ruten herunter, die einen Wulst zusammenzuhalten scheinen. Damit die Rutenschleife vom Kopfe des Stockes nicht abgleitet, ist anscheinend durch diesen in senkrechter Richtung noch ein kleiner Holznagel oder Vorstecker hindurchgesteckt, von dem man nur das untere Ende sieht. Ähnliche Vorstecker kommen beim Holzbau häufiger vor. Der Wulst zwischen den Köpfen und unter dem Durchstecker erscheint nicht fertig ausgearbeitet. So stellt auch



Haupt an den zapfenartigen Löchern, die sich rechts und links von den genannten Gesimsstreifen befinden, und die einmal eine Reihe von kleinen Rundbögen oder die Tragbalken für diese aufgenommen zu haben scheinen, einwandfrei fest, daß dieser Teil des Grabmals niemals ganz fertig geworden ist. Die Ansicht, daß hier früher einmal ein Gang mit Rundbogenöffnungen, eine Art von Zwerggalerie, den Bau umzogen habe oder wenigstens umziehen sollte, ist wohl die natürlichste, wenn sie auch neuerdings von vielen Forschern angezweifelt wird. Diese Frage sei hier vorläufig jedoch noch beiseite gelassen, um ihr unter Umständen erst dann näher zu treten, wenn wir am jetzigen Unterbringungsorte des Leichnams des Königs anderswoher entnommene fensterartige Öffnungen gefunden haben werden, die wohl für einen derartigen Umgang in Anlehnung an alte Vorbilder geeignet gewesen wären.

Bis zu den aus der Wand herausgearbeiteten kleinen Halbkreisbögen hinauf ist die Grundform des Grabes zehneckig, darüber wird sie kreisrund. Für den unteren Teil wird dem Entwerfenden nach dem Obigen ein Holzbau aus

---

40) Nach Gregorovius, Ravenna, waren die deutschen Kaiser der Frühzeit, insbesondere die Ottonen, häufig in Ravenna, Otto I. z. B. fünfmal. Otto III., der ja besonderes Interesse für die Beisetzung Kaiser Karls in Aachen zeigte, und der sich lange in Ravenna aufgehalten hat, wird noch demnächst mit der Einrichtung des Innern des Theoderichgrabmals in besondere Verbindung zu bringen sein.

Bohlen oder aus geschnittenen Balkenhölzern als Vorbild vorgeschwebt haben, und für einen solchen ist die eckige Grundform die natürliche, für den oberen dagegen ein Flechthaus, für welches die runde die angemessenste Form ist[41]). Der Übergang von dem Holz- zum Flechtbau ist daher wohl gerade in dieser Höhe gedacht, und die oben geschilderten nicht fertigen Gesimsstreifen nehmen ihr Motiv vielleicht von einer Verbindung her, die die Verknüpfung des oberen Rutenbaues mit dem unteren Bohlenteil mittels eingeschlagener Holznägel und daran anknüpfender Flechtruten herstellen sollte. Damit hören nun aber nicht sämtliche Holzformen nach oben hin auf. Eine Fensteröffnung wird man auch in einer Rutenwand des Verschlusses wegen gerne in Bohlen herstellen. Die Fensterform, wie sie sich oben in der Rundung des Grabmals mehrfach findet, ein Rechteck, auf das sich oben ein etwas eingerückter Halbkreisbogen setzt (Abb. 2 oben links), ist dementsprechend eine echte Holzform, und man trifft sie noch heute bei alten Holzbauten in Skandinavien[42]), Ostdeutschland und in manchen Alpentälern an.

Die das Hauptgesims am Grabmal abdeckende Steinschicht zeigt ein eigenartiges schöngeschwungenes Profil mit Wassernase darunter (Abb. 11). Das Profil sowohl wie die Wassernase erinnern sehr an die Gestaltung des mächtigen Baumes, der am First der skandinavischen Stabkirchen den Zusammenschluß der Schindeldeckung außen schützt, und der sich über eine Art von innerer Firstpfette legt, wie Abb. 46 nachweist. Der genannte Baum ist etwas sehr Kennzeichnendes für diese alte Bauart, und seine Bedeutung wird dadurch noch hervorgehoben, daß er an den Giebeln in große geschwungene Drachen- oder sonstige Köpfe ausläuft, die „Brandr" heißen, ähnlich den Stevenverzierungen der Drachenschiffe[43]). Auf eine zweite sorgfältige Abschneidung des herablaufenden Traufwassers an der Unterseite des Hauptgesimses des Grabmales hinter der Perlschnur (Abb. 11) sei hier mit Rücksicht auf Späteres hingewiesen.



Abb. 46. Schnitt durch den Firstbalken einer nordischen Holzkirche.

41) Meringer (a. a. O. S. 188) sagt zutreffend: „Das geflochtene Haus verrät sich auf den ersten Blick dadurch, daß es keine Kanten hat, sein Grundriß ist ein Rechteck mit abgerundeten Ecken." Noch naturgemäßer erscheint jedoch eine ganz runde Kreis- oder Ellipsenform.

42) Vgl. z. B. Dietrichson u. Munthe, Die Holzbaukunst Norwegens, Berlin 1893, S. 2, Ansicht der Kirche zu Hitterdal. Viele andere mittelalterliche Fensterformen, z. B. die Eselsrücken- und Lamberquinbögen der Spätgotik, die Fächer- und Kleeblattformen der rheinischen (fränkischen) Kunst einschließlich des Maßwerks, soweit es nicht Plattenmaßwerk darstellt, lassen sich dagegen leicht aus der Flechtbaukunst ableiten.

43) Die Endigungen an steinernen und hölzernen Giebeln laufen vielfach in Tiergestalten aus, die gewissermaßen das Auslaufen der Bindestricke daselbst darstellen und demgemäß in freien Flechtformen ausgebildet sind. Außer an den norwegischen Bauten finden sich solche Bildungen an niedersächsischen Bauernhäusern (sogenannte Schwanenhälse oder Gemsenköpfe im Alten Lande bei Hamburg), aber auch die Akroterien der griechischen Tempel dürften auf Ähnliches zurückzuführen sein. Die Bindestricke zeigen sich hier in schön geschwungenen Formen, sind häufig zu Schnecken aufgerollt oder in ihre einzelnen Stränge palmettenartig aufgelöst und umrahmen zuweilen auch irgendwelche eingeschobene Bildungen, wie Tierleiber oder Menschenköpfe.

Wir kommen jetzt zu den zwölf sonderbaren Aufsätzen, die sich auf dem riesigen Stein, der nach Art nordischer Hünengräber den ganzen Bau abdeckt, befinden. Einige der bisherigen Beschreiber haben sich bei ihnen an Dachfenster, andere an Henkel, Handhaben oder sonstiges erinnert gefühlt. Nach unsern obigen Ausführungen wird die Wölbung des Daches zu erklären sein als übernommen von einem aus Stöcken und Ruten geflochtenen Kuppeldach, das oben durch Lehmschlag, durch Birkenrinde mit Rasen darüber oder Ähnliches abgedeckt zu denken ist. Diese Deckungsart findet sich bei den alten heimischen Bauten in Skandinavien, den Burs und Lofts, zuweilen heute noch vor. Eine solche Werkweise ist viel tragfähiger, als man anzunehmen geneigt ist. Mit einem einfachen Geflecht kommt man, wie sich dies bei eiligen Wiederherstellungsarbeiten während des jetzigen Krieges in Ostpreußen gezeigt hat[44]), bis zu einer Spannweite von 6 m aus. Bei größeren Weiten bis zu 10 m muß das gewölbte Flechtwerk nach den Auflagern zu schon durch eine zweite Flechtlage verstärkt werden, wie wir diese Verdopplung beim Grabmal an den zwei Reihen der Dachstöcke übereinander schon vorfanden. Darüberhinaus, oder wenn man eine größere Sicherheit gegen Belastung, Wind- und Schneedruck usw. haben will, muß man nach der genannten Quelle schon Stützwerke von Balkenhölzern anwenden. Wie ein solches Stützwerk im Norden etwa ausgeführt wird, zeigt die Abbildung eines ganz aus Holz hergestellten Eisenbahnschutzbaues, der an der höchsten Stelle der Eisenbahnstrecke Kristiania-Bergen wahrscheinlich als Schutz gegen Schneeverwehungen errichtet worden ist (Abb. 47). Der Querschnitt der Schutzhalle besteht aus einem Rechteck mit dem Dreieck des Daches darüber. Die senkrechten Stiele der Seitenwände sind in geringen Entfernungen — anscheinend bei jedem Sparren — über Dach hochgeführt und hier zu zweien durch ein wagerechtes Holz verbunden, das die Dachfläche durchbricht, da es tiefer als der First liegt. Man wird annehmen dürfen, daß die aus der Dachfläche hervorstehenden Enden flach satteldachförmig abgearbeitet sind, damit das Regenwasser gut ablaufen kann und die Hölzer durch die Abarbeitung doch möglichst wenig geschwächt werden. Unter dem Dachüberstande sind dann diese viereckigen Rahmen noch durch äußere freiliegende Streben, die in die Stiele eingreifen, ähnlich wie etwa bei Feldscheunen abgestützt. Die Strebe wird bei dieser Schutzhalle gewiß mit einer Versatzung in den mit der Säge geschnittenen Stiel eingreifen. Wird das Holz aber, wie dies früher auch in Deutschland üblich war, nur mit dem Beile viereckig bearbeitet, so läßt man, um das Holz nicht durch den Einschnitt zu schwächen, oberhalb der Versatzung zweckmäßig aus dem Vollen einen kleinen Knaggen stehen, unter den sich die Strebe setzt.

Alles dies ist am Grabmal auch zu sehen. Aus der Dachfläche kommen die Ecken des Stützrahmens hervor, der nicht mit solcher Rücksicht auf Holzersparnis wie beim heutigen Bahnbau, sondern aus starken Balkenhölzern gedacht ist. Das Rahmholz zeigt oben die flache sattelförmige Abarbeitung. Dagegen ist vorne der Überstand über den Stiel fortgelassen, und zwar mit Recht, denn dies würde unschön und unruhig ausgesehen, außerdem aber auch den Durch-

44) Vgl. Fränkel im Zentralbl. d. Bauverw. 1914, S. 576.



Abb. 47. Schutzhalle von Holz an der Bahn Kristiania-Bergen.

messer des gewaltigen Steines unnötig vergrößert haben. Der entwerfende Künstler wollte ja auch nicht Holz vortäuschen, sondern nur vom Holzbau sein Vorbild entnehmen. Dafür ist aber der Knaggen am Stiel, unter den sich eine eingebildete Strebe setzen konnte, deutlich zusehen, besonders auf der rechten Seite der Abb. 2. Hier paßte dem Künstler wohl eine kleine Schattenwirkung, die man in der Tat nicht gern vermissen möchte. Es dürfte daher keinem Zweifel unterliegen, daß wir auch in diesen vielbehandelten Dachaufsätzen wieder einen Nachklang der alten germanischen Holzbauweise vor uns haben. Die Ansätze können natürlich außerdem dazu gedient haben, den großen Stein bei der Beförderung und beim Heben besser angreifen zu können, wie dies manche annehmen. Die Durchlochung und die die Haltbarkeit schwächende genauere Ausarbeitung ist dann vielleicht erst nach der Versetzung des Steines vorgenommen worden.

Die Verlegung wird man sich wohl unter Zuhilfenahme von Rampenanlagen vorzustellen haben, wie sich die Reste solcher bis zu $3\frac{1}{2}$ Kilometer Länge noch an den Steintürmen (Gopurams) indischer Tempelbauten vorfinden, deren Satteldächer zuweilen durch ähnliche gewaltige Steine bis zu 12 m Länge abgedeckt sind. Zur Ausarbeitung des Dachsteins gehört nach der Aufnahme und Berechnung von Haupt ein Steinblock, der reckteckig ummessen den fast unglaublichen Inhalt von rund 360 cbm[45]) faßt. Ein derartiger Block ist, wenn er auch nur aus gewöhnlichem istrischen Kalkstein besteht, doch nach der Schwierigkeit der Gewinnung, der Beförderung und des Verlegens als eine Kostbarkeit allerersten Ranges zu betrachten, worauf auch v. Quast und Haupt schon hingewiesen haben. Er legt sich schützend und durch sein Gewicht zusammenhaltend und verschränkend auf das Ganze des Grabmals, etwa wie die Kämpfergesimssteine im Erdgeschoß im Kleinen die Quadern der Pfeiler unter ihnen zusammenhalten. Trotzdem haben spätere Zeiten nicht nur die Reliquien und Kostbarkeiten, die sich im Innern des Grabmals befanden, sondern auch die Steine des Grabmals selbst, soweit dies eben nur möglich war, unter dem großen Steine hervorgezogen und fortgeschafft. Hierbei mag der Deckstein den starken Riß[46]) erhalten haben, den er heute noch zeigt. Der ravennatische Presbyter Agnellus bezeugt schon etwa zu Karls des Großen Zeit die Zerstörung des Grabmals, wenn er von dem Leichnam Theoderichs sagt: „Wie mir es zu sein scheint, ist er aus dem Grabmal herausgeworfen worden.“ [47]) Die Zerstörung und die später folgenden verschiedenen Wiederherstellungsarbeiten des Denkmals während eines Zeitraumes von fast anderthalb Jahrtausenden werden uns bei der Untersuchung des Inneren und dem Nachweise des jetzigen Verbleibs des Leichnams demnächst noch auf das gründlichste zu beschäftigen haben.

Bei den besprochenen Ansätzen ist schon von jeher aufgefallen, daß sie sich in der Anzahl von zwölf an dem Deckstein des unten zehnseitigen Gebäudes befinden, und daß die Zwölfteilung mit der unteren Zehnteilung in keinerlei Zusammenhang gebracht worden ist. Man hätte doch auf der Grabmalsachse über den Eingängen entweder genau eine Zwölfecksseite oder eine Ecke, einen Dachaufsatz, anbringen und so wenigstens die Hauptachsen in Übereinstimmung setzen können. Aber auch dies ist nicht geschehen, die Dachaufsätze liegen vielmehr ungleichmäßig zur Hauptachse des Gebäudes, wie die Abb. 2 nachweist. Vielfach ist die Ansicht ausgesprochen worden, die zwölf Apostel hätten auf den Dachaufsätzen gestanden. Aber dann würde man gewiß den Stein richtig nach der Achse verlegt haben, und die Namen, die sich jetzt an der Vorderseite der Dachaufsätze eingearbeitet finden[48]), sind nicht die von den zwölf Aposteln, sondern von vier Evangelisten und acht Aposteln. Die Anbringung dieser zwölf nicht zusammengehörigen Namen kennzeichnet sich daher schon hierdurch als ein späterer Zusatz.

Zur Erklärung der geschilderten Unregelmäßigkeit möchte ich daher eine andere Vermutung, die aber ausdrücklich nur als eine solche bezeichnet werden soll, hier aussprechen. Wenn die nach oben, also dem Himmel zu gerichtete Zwölfteilung vollständig unabhängig von dem unteren Gebäude ist, so ist es wohl möglich, daß sie durch ein höheres Gesetz, durch den Himmel selbst und seine zwölf Tierkreisbilder vorgeschrieben war. Die Goten rühmten sich gerade ihrer umfassenden Kenntnisse auf dem Gebiete der Sternkunde. Sie kannten nicht weniger als 346 Sterne sowie die zwölf Tierkreiszeichen und die Wanderung der Sonne und der Planeten durch diese und versuchten offenbar sogar die besondere, bald rechtläufige, bald rückläufige Bewegung der Planeten vor dem Fixsternhimmel zu erklären[49]), wenn ihnen dies auch nicht gelang. Dabei schoben sie aber den Gestirnen günstige und ungünstige Einflüsse zu[50]), wie dies die Sterndeuterei, die ja eng mit der Sternkunde verknüpft war, tut.

Für die Sterndeutung ist es aber besonders wichtig, in welchen Tierkreisbildern oder „Häusern“ die Sonne und die Planeten bei wichtigen Ereignissen des menschlichen Lebens, z. B. bei der Geburt oder dem Tode, standen. Das „Horoskop“ und die „Aspekten“ eines Menschen wurden

45) Haupt a. a. O. S. 10. Infolge eines falschen Höhenmaßes aus früheren Aufnahmen hat der Verf. Jahrg. 1916, S. 342 diese Steingröße fälschlich nur auf 266 cbm berechnet.

46) Abb. bei Haupt a. a. O. Taf. VII.

47) Ut mihi videtur esse, sepulcro projectus est.

48) Auf Abb. 2 sind diese flach eingearbeiteten Namen nicht zu sehen. Haupt gibt sie deutlich wieder.

49) Vgl. Jornandes, Getica cap. 11 . . . . quomodo rotatu caeli raptos retro reduci ad partem occiduam qui ad orientalem plagam ire festinant . . . .

50) Wenigstens dem Monde (commoda incommodaque lunae).

hiernach bestimmt. Für alle solche Bestrebungen mußte der König, der von seinem Enkel Athalarich ein Gelehrter in Purpur (philosophus purpuratus) genannt wird, lebhafte Teilnahme zeigen. Sahen wir doch, daß er in seiner Gerichtshalle an dem Deckengewölbe über seinem Richtersitz den Himmel mit seinen Sternbildern und sogar mit den beiden wichtigsten Einteilungskreisen, den Koluren, darstellen ließ. Ich möchte daher die Ansicht aussprechen, daß irgendein dem Kenner kenntliches, uns aber verborgenes astrologisches Geheimnis hinter der ganz aus dem übrigen Grabmal herausfallenden Zwölfteilung und der zusammenhanglosen, scheinbar willkürlichen Einstellung dieser Zwölfteilung steckt. Weitere Zeichen, die mit der Zwölfteilung in Verbindung standen, etwa auf der Spitze oder in der Umgebung des Grabmals mögen früher vorhanden gewesen, jetzt aber entfernt worden sein. Das Grabmal selbst ist dagegen — ebenso wie unsere Kirchen bis zum heutigen Tage — geostet, oder wie es im Dänisch-Norwegischen heißt sonnenrecht (solret) gestellt, d. h. der Eingang liegt nach Westen zu. Die Ostweststellung war die Regel für die alten Königssäle und Herrenhäuser in Skandinavien, wie Dietrichson bemerkt[51]). Für die Kirche, das Haus des Herrn wie wir sagen, oder für die Basilika, die Königshalle des Himmelskönigs, findet sich diese Anordnung, wie v. Quast betont, zuerst in Ravenna vor, bevor sie in Rom angewendet wurde[52]). Die Einführung der Sonnenrechtstellung in die kirchliche Kunst wird daher auch wohl auf die Germanen und in erster Linie auf die Ostgoten in Ravenna zurückzuführen sein.

Wenn wir für die Einzelheiten des Theoderich-Grabmals die Vorbilder und Anregungen im fernen Norden und besonders in Skandinavien gefunden haben, so werden wir dort wohl auch das Urbild für die Gesamtanlage zu suchen haben. Der erste germanische uns erhaltene Schriftsteller, der Gote Jornandes, bezeichnet Skandinavien, das er „die Erzeugungsstätte und gewissermaßen den Mutterschoß der Völker" nennt, auch als die Urheimat der Goten[53]). In Skandinavien sind uns außer den alten Holzkirchen, deren älteste vielleicht dem 12. Jahrhundert entstammen, an Profanbauten die gleichfalls ganz aus Holz hergestellten Vorrats- und Schlafhäuser, die Bur, Loft oder Skemma heißen, erhalten. Wenn von diesen die ältesten auch nur, wie behauptet wird, bis ins 14. Jahrhundert zurückreichen mögen, so wird doch allgemein anerkannt, daß uns in diesen besonderen Hausformen eine ganz alte Gebäudegattung entgegentritt, wie sie schon von Urzeiten her in dem Lande heimisch gewesen sein muß, und wie sie in dem alten Schrifttum der Sagas auch schon als vorhanden und allgemein üblich angeführt wird. Sie spiegeln in ihrer Anlage, wie Dietrichson[54]) bemerkt, eine ferne Zeit wieder, in der sich die Gehöftsanlage und die Lebensweise des Königs noch kaum von der eines freien Bauern unterschied. Bei den skandinavischen Gehöften war und ist es zum Teil auch heute noch üblich, daß für jeden Zweck ein besonderes Gebäude errichtet und nicht, wie dies sonst der Fall ist, verschiedenerlei Betriebe unter einem Dache vereinigt werden. Das einzelne Gebäude besteht dann bei den ältesten Beispielen, wie sie vielfach in den nordischen Freiluftmuseen wieder aufgebaut oder nachgeahmt sind, meistens nur wie beim Theoderichgrabmal aus zwei Räumen übereinander, einem unteren und einem oberen. Der untere Raum dient untergeordneten Zwecken, z. B. zur Unterbringung von Vorräten, Wagen, Geräten usw., der obere dagegen zum Wohnen und zum Schlafen. Der obere Raum hat außer der Tür und allenfalls einer Rauchöffnung im Dach keinerlei Fensteröffnungen und ist durch einen äußeren Umgang, der sich an einer oder mehreren Seiten befindet, und der mit größeren oder kleineren Lichtöffnungen in den Außenwänden versehen ist, umzogen. Für die Treppe zum Obergeschoß ist kein besonderer Raum vorgesehen, sie befindet sich vielmehr in sehr einfacher steiler Anlage unter dem oberen Umgang, wie die Schräge auf Abb. 48, ein Schlafhaus aus Rolstad in Gulbranddalen darstellend, nachweist. Es mochte dies durch Verteidigungszwecke, allerdings nur gegen kleinere Überfälle, bedingt sein. Des Nachts oder wenn die Frauen allein zu Hause waren, konnte man die Treppe hochziehen und war dann so lange gegen Gesindel und Landstreicher geschützt, bis man selbst zur Wehr gegriffen hatte oder die Männer durch Hornruf und sonstige Zeichen von den Feldern oder der Jagd zurückgerufen waren. Der äußere Umgang diente bei günstiger Witterung als Tagesaufenthalt, hatte aber auch den Zweck, den Hauptbau gegen die Witterung und das Verwittern zu schützen. Dieser Gang war aber selbst wieder der Verwitterung besonders ausgesetzt. Er wurde daher vielfach dem Hauptbau nur lose außerhalb des festen geschlossenen Verbandes angefügt oder angezapft, so daß er leicht abgenommen und erneuert werden konnte, ohne das Stützwerk des Hauptbaues hierbei zu erschüttern[55]). Dieser Gesichtspunkt ist offenbar auch maßgebend gewesen für die Gesamtanordnung des in Abb. 49 wiedergegebenen Vorrats- und Schlafhauses aus Björkvik in Ostergotland. Hier setzt sich der Dachanfall des Umgangs selbständig unter das Hauptgesims und ist dabei möglichst hoch gezogen, damit durch das Hauptgesims das herablaufende Regenwasser gut abgeschnitten und der Dachanfall geschützt wird. Der Umgang mit seinem besonderen

---

51) a. a. O. S 102. In dem amtlichen Wegweiser (Veyleder) von B. Olsen durch das Freiluftmuseum in Lyngby bei Kopenhagen (vgl. Denkmalpflege 19 2, S. 62) sind die alten Grundrisse eines dänischen und eines sächsischen (d. h schleswigschen) Bauerndorfes nebeneinander gegeben. Die Grundflächen der einzelnen Häuser stellen bei beiden lange Rechtecke dar, wie sie uns durch das niedersächsische Bauernhaus bekannt sind. Im dänischen Dorfe sind aber alle Häuser gleichlaufend von Osten nach Westen angeordnet, während sie im sächsischen nach jeder beliebigen Richtung stehen, meistens mit einer kurzen Rechteckseite, der Giebelseite, nach der vorbeiführenden Straße zu.

52) v. Quast, Die altchristlichen Bauwerke von Ravenna, S. 45: „Eine Eigentümlichkeit, welche wohl auch zuerst im Oriente entstanden ist und im Okzidente, namentlich in Rom, erst später Eingang gewann, ist die Orientierung aller Basiliken Ravennas, welche mit zweien Ausnahmen ihre Fronten sämtlich gegen Westen richten."

53) Jornandes, Getica cap IV. Ex Scandza insula quasi officina gentium aut certe velut vagina nationum Gothi quondam memorantur egressi. In bezug auf die Herleitung der indogermanischen Völker aus Skandinavien oder wenigstens eines Bluteinschlages von daher, kommen neueste Forscher zu ähnlichen Ergebnissen wie der Gote Jornandes, vgl. z. B. L. Wilser, Die Germanen, Leipzig 1913/14.

54) a. a. O. S. 101.

55) Ähnliches führt Dietrichson an. a. a. O. S. 10 und 105.



Abb. 48. Schlafhaus aus Rolstad in Gulbrauddalen.
(Nach Mühlke, Denkmalpflege 1900, S. 17.)

Dach kann daher hier verhältnismäßig leicht abgenommen und erneuert werden.

Alles dieses finden wir beim Theoderichgrabmal wieder, und gerade das Haus aus Ostergotland zeigt im wesentlichen dieselben Anordnungen wie das Grabmal des großen Königs der Ost-, Austro- oder Ostergoten. Im Untergeschoß befindet sich beim Grabmal nur ein kreuzförmiger Raum, und wir werden demnächst die zwar wichtige, aber doch immerhin nur als Mittel zum Zweck dienende Bestimmung dieses Raumes näher nachzuweisen haben. Das Obergeschoß enthält dagegen den Hauptraum, den wir später als die Stätte nachweisen werden, wo der Tote gewissermaßen wie in einer Wohnung für die Ewigkeit in echt germanischer Weise mit den kostbarsten Beigaben beigesetzt war, wie dies auch von Karl dem Großen berichtet wird. Der Umgang war nicht zu irgendeiner Benutzung bestimmt, etwa damit von dort aus die Goten ihren entschlafenen, sitzend aufgebahrten König betrachten konnten, sondern er stellt nur eine Erinnerung an die einfachen Hausanlagen der Vorzeit dar. Wie die für zapfenartige Verbindungen bestimmten Löcher am Bau beweisen, ist auch er nur lose und ganz für sich wie bei den alten Holzbauten an den Hauptbau angezapft gewesen; oder vielmehr seine Einzapfung war nur beabsichtigt, da nach Haupts einfachen, aber überzeugenden



Abb. 49. Vorrat- und Schlafhaus in Björkvik (Ostergotland).
(Aus Denkmalpflege 1900, S. 26. Die eigentlichen Lichtöffnungen in den Umgängen sind hier durch Läden mit kleinen Licht- oder Schießschlitzen verdeckt.)

Darlegungen niemals etwas in die Zapfenlöcher eingeschoben gewesen ist. Trotzdem glaube ich die niedrigen für diesen Umgang bestimmten Lichtöffnungen, die etwas an diejenigen des Schlafhauses in Abb. 48 erinnern, demnächst nachweisen zu können, wenn auch diese Öffnungen in Höhe und Breite nicht mit den angedeuteten, dahinter gelegenen Schildbögen am Hauptbau übereinstimmen. Ebenso sind vielleicht auch die Decksteine, die den Umgang als Dach abdeckten, noch aufzufinden. Alles ist mit größter Ehrfurcht aufbewahrt und, soweit es eben ging, an dem jetzigen Unterbringungsorte des Toten an möglichst passender Stelle wieder verwendet worden. Beim Grabmal in Ravenna wird man sich den Anfall des Umgangdaches auch möglichst hoch hinaufgezogen zu denken haben, d. h. die Oberfläche des steinernen Daches lag unmittelbar unter den kleinen Fenstern links und der Schlupftür des Obergeschosses rechts (vgl. Abb. 2). Der Anschluß ist dann gut gegen Regen geschützt durch das überstehende Hauptgesims mit der erwähnten sorgfältig ausgearbeiteten unteren Wasserabschneidung. Die Decksteine des Umgangdaches fanden dagegen ein zwar etwas knappes, aber doch immerhin ausreichendes Auflager von etwa 18 cm Breite auf der mächtigen vorspringenden Ringschicht, die das ganze Gebäude in dieser Höhe umzieht. Die Schlupftür diente dann dazu, das ziemlich flache Steindach des Umganges zur Beaufsichtigung und für Ausbesserungen zu betreten. Ein zeichnerischer Wiederherstellungsversuch soll hier nicht gegeben werden. Wenn man zu zeichnen beginnt, muß an allen Ecken und Anschlüssen zuviel nach eigenem Gutdünken und Geschmacke ergänzt werden, was besser unterbleibt. Es finden sich Schwierigkeiten genug auf dem von uns betretenen Wege vor, so daß kein Anlaß vorliegt, sie noch zu vermehren.

Man wird zusammenfassend nach dem obigen das Theoderichgrabmal sowohl in seinen Einzelformen wie in seiner Gesamtanlage als eine steinerne Nachbildung der alten nordischen Holzbauten betrachten dürfen. Es trifft bei ihm zu, was Stephani[56]) schon von den gewaltigen germanischen Hünengräbern sagt: „Die Totenhäuser waren wie die Wohnungen der Lebenden und wichen von diesen, weil sie für die Ewigkeit berechnet waren, nur durch das Gigantische ihrer Dimensionen und durch die Dauerhaftigkeit des Herstellungsmaterials ab.“ Hierbei ist aber, worauf Stephani gleichfalls im allgemeinen hinweist, nicht die wirkliche Wohnung des Lebenden, sondern das Haus in seiner ältesten bei dem Volke üblichen Form zum Vorbild genommen. In unserem Falle sind wir auf Skandinavien, die Urheimat der Ostgoten zurückgeführt worden, und hier war es gerade ein Bau aus Ostergotland, der in seiner Gesamtanordnung die meiste Ähnlichkeit mit dem Grabmal des großen Ostgotenkönigs aufwies. Das heute noch erhaltene skandinavische Holzhaus wird wohl mindestens tausend Jahre jünger sein, als Theoderichs Grabesbau. Man wird sich daher nicht zu wundern brauchen, daß nicht alles an diesem reinen Holzhause mit Theoderichs steinernem Grabmal übereinstimmt, sondern vielmehr darüber, daß trotz des großen Zeitunterschiedes so viele Übereinstimmungen zwischen den beiden Bauten, aus uralten Quellen abgeleitet, doch noch vorhanden

56) a. a. O. S. 19.

sind. Dabei soll nicht in Abrede gestellt werden, daß auch bei anderen Völkern sich Grabmäler von ganz ähnlicher zweigeschossiger Gesamtanlage vorfinden, wie sie das Theoderichsgrab aufweist: unten befindet sich ein geschlossenes rechteckiges, vieleckiges oder rundes Geschoß mit einem oder bei großen Anlagen mehreren Räumen; darüber folgt das von einem mehr oder weniger offenen Umgange oder von einer Säulenhalle umzogene Obergeschoß, und wieder darüber erhebt sich das Dach in irgendeiner dem Steinbau entsprechenden, aber ursprünglich dem Holzbau entnommenen architektonischen Ausbildung. Als einzelne Beispiele dieser Übereinstimmung teils großen teils kleinen Maßstabes, die mit Abbildungen und in der größten Vollständigkeit wohl von Bühlmann[57]) gegeben sind, seien hier genannt: das Mausoleum in Halikarnaß, das Nereidenmonument in Xanthos, ein Grabmal zu Mylasa und das Hadriansgrab in Rom. Von diesen Bauten ist aber keiner als Vorbild des Theoderichgrabmals zu betrachten, sondern sie sind alle ebenso wie dieses selbst zurückzuführen auf einfache Hausanlagen der betreffenden Völker, und zwar gehören diese Völker alle dem indogermanischen Sprachstamme an. Wie durch die Sprache und durch manches andere ein ursprünglicher Zusammenhang zwischen diesen Völkern nachgewiesen ist, so wird auch die einfache, zuweilen ein- oder zweigeschossige Hausanlage und die Wiedergabe dieser in den Grabmälern[58]) zum ursprünglichen gemeinschaftlichen Besitze dieser Völker gehört haben. Daß auch die Nachbildung der Einzelformen der Steinbaukunst nach denen der Holz- und Flechtbaukunst ein derartiger gemeinschaftlicher Besitz ist, darauf möge nach den wenigen oben gegebenen Beispielen hier nur kurz hingedeutet werden. Wenn die Kunstforschung auf ihrem Gebiet zu ähnlichen Ergebnissen gelangt wie die Sprachforschung und andere Wissenschaften auf den ihrigen, so ist dies schon allein als ein Zeichen dafür anzusehen, daß sie sich auf dem richtigen Wege befindet.

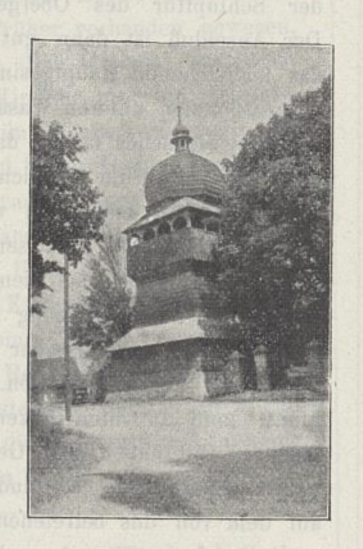


Abb. 50. Holzbauten aus Polen.

Schließlich sei noch auf das Bildchen (Abb. 50) zweier Bauten aus Polen von ähnlichem Aufbau hingewiesen, wie wir ihn für Skandinavien und das Theoderichgrabmal kennen lernten. Das Untergeschoß ist hier noch bereichert, im einen Falle durch ein vorspringendes Zwischendach, im anderen durch einen Umgang um das Erdgeschoß. Beide Anlagen können wie bei den skandinavischen Bauten nur den Zweck haben, die unteren Teile des Hauptbaues und insbesondere die Schwelle gegen die Witterung zu schützen. Da die Bilder der nicht von einem Texte begleiteten Aufnahme eines Feldgrauen entstammen, kann der Ort, die Entstehungszeit und der Zweck der Gebäude nicht angegeben werden. Auf jeden Fall haben östlich der Weichsel, also im heutigen Polen, früher die Goten auch während mehrerer Jahrhunderte gesessen, und als sie weiter wanderten, werden wohl nur die in geeignetem Lebensalter Stehenden abgewandert, die übrigen dagegen in der Heimat zurückgeblieben sein, wo sie in den später eindringenden Slawen aufgingen. So nahm Theoderich, als er von der unteren Donau nach Italien aufbrach, von seinem Volke auch nur soviel mit sich[59]), als damit einverstanden waren, und daß ein germanischer Bluteinschlag bei den Slawen überhaupt vorhanden ist, findet sich zuweilen schon näher ausgeführt[60]). Vielleicht ist also auf diesen Einschlag die Ähnlichkeit dieser Bauten mit den skandinavischen und gotischen zurückzuführen.

In der reizenden zweigeschossigen Kirche in Schwarzrheindorf bei Bonn, die ursprünglich ein kreuzförmiger Zentralbau mit offenem Umgang um das Obergeschoß war, und die erst später eine bedeutende Erhöhung des zentralen Mittelturmes und eine Verlängerung des westlichen Flügels erfuhr, sind auch wieder dieselben Elemente vertreten wie am Theoderichgrabmal. Die Kirche ist von dem Kölner Erzbischof Arnold v. Wied gebaut und im Jahre 1151 geweiht worden. Da dieser Erzbischof hier später von seiner Schwester beigesetzt wurde, so wird die Kirche wohl auch von Anfang an als Grabeskirche gedacht gewesen sein.

Schließlich seien hier noch die Namen einiger offenbar aus dem Gotenvolk hervorgegangener Bau- und sonstiger Künstler gegeben, da diejenigen, die bei den Bauten Theoderichs keinerlei germanischen Einfluß anerkennen wollen, vielfach den Einwand erheben, es seien ja keinerlei Namen von Baumeistern gotischen Stammes in den Erlassen des Königs genannt, dort kämen vielmehr nur die Namen Daniel und Aloysius für Baumeister oder Werkleute vor. Nun ist der Name Daniel aber auch kein römischer, und ein Gote kann diesen biblischen Namen ebensogut geführt haben wie ein Römer. Ferner ist auch der Name Aloysius kein römischer, sondern er ist aus dem germanischen Alwis entstanden, der

57) In einem Aufsatze über das Mausoleum in Halikarnaß vgl. Zeitschrift für Geschichte der Architektur 1908, S. 1 bis 25. Dieselben Abbildungen sind von hier aus auch übernommen von Bruno Schulz (Das Grabmal des Theoderich zu Ravenna und seine Stellung in der Architekturgeschichte, Würzburg 1911. Mannus-bibliothek).

58) Bulle, der Leiter der Königl. bayerischen Ausgrabungen in Orchomenos, weist nach, daß das sogenannte Schatzhaus des Atreus ein Grabmal gewesen ist, und daß diesem ein mit Lehm bedecktes Flechthaus als Vorbild gedient hat. In Orchomenos finden wir daher denselben Brauch beim Grabmal befolgt wie in Ravenna, nur mehr als tausend Jahre früher (vgl. den Bericht von Bulle in der Zeitschrift „die Woche,“ Jahrg. 1904, Nr. 5).

59) Jornandes, Getica cap. 57.

60) Vgl. z. B. F. Wolff, Wer waren die Altslaven? Zeitschr. Mannus 1915, S. 135 ff. Wolff kommt zu dem Ergebnis: „Die Altslaven waren Nordeuropäer und zwar Ostgermanen, welche die slavische Sprache angenommen hatten.“

schon als Name des alleswissenden Zwerges in der Edda vorkommt[61]). Im Anschluß an diese bekannten Namen seien hier aber noch die dreier offenbar gotischen Künstler, des Bildhauers Oelinthus, des Baumeisters Aldo und des Malers Baleus gegeben, die sich an einer bisher nicht beachteten Schriftstelle vorfinden. Die Künstler mußten wegen zu großer Verehrung des Königs Theoderich Konstantinopel verlassen und nach Italien zurückkehren. De Verneilh gibt diese Namen in seiner L'architecture byzantine en France, Paris 1851, Fußnote 1 auf Seite 127. Er entnimmt daselbst einer Geschichte der italienischen Abtei Monte Cassino, in die sich auch Theoderichs Kanzler Kassiodor nach dem Zusammenbruch des Gotenreiches zunächst zurückzog, folgende Stelle: In illo tempore venerunt super cacumina montis Moscio de monte Cassino Oelintus sculptor, et Aldo architectus et Baleus pictor, qui Constantinopolim (?) expulsi quia Domno Teodorico favebant, in Italiam reversi per castella et eremos sculpebant et extruebant et pingebant.

Die drei Künstler sind also aus Konstantinopel nach Italien zurückgekehrt (reversi) und müssen daher, wohl um die Kunst ihres verehrten Herrschers nach Konstantinopel zu übertragen, ursprünglich von Italien ausgegangen sein. Das stimmt trefflich mit der Ansicht einiger deutscher Forscher, die sich gründlicher mit ravennatischer Kunst beschäftigt haben und zu dem Ergebnis gekommen sind, daß der sogenannte byzantinische Stil früher in Ravenna zu hoher Ausbildung gekommen ist, als in Byzanz.

Als die Goten etwa in der Mitte des sechsten Jahrhunderts von Justinian und seinen Feldherren niedergekämpft sind und ihr Reich aufgelöst ist, da gibt es auch weder in Italien, noch in Byzanz, noch sonstwo im byzantinischen Reiche eine vorwärtsstrebende und neues schaffende Kunst mehr. Die Kunst verfällt in Erstarrung. Gleichzeitig mit dem Eindringen der Ostgermanen in das byzantinische Reich hatte sie sich entwickelt und war zur Zeit des Ostgotenreiches in Italien sowohl wie in Byzanz zu lebenskräftiger Blüte emporgediehen. Mit dem Zusammenbruch des Ostgoten- und Vandalenreiches fällt aber alles wieder zusammen, und die großen Musterleistungen des sechsten Jahrhunderts werden nie wieder erreicht. Also wieder ein Anzeichen mehr für den Zusammenhang der byzantinischen Kunst mit den Ostgermanen.

Nach den vorstehenden Ausführungen wird mit Gewißheit anzunehmen sein, daß das Grabmal Theoderichs von gotischen, insbesondere im Zimmerhandwerk geschulten Meistern ausgeführt worden ist, wobei aber nicht in Abrede gestellt werden soll, daß der König zu anderen Bauten auch römische Werkleute und Baumeister heranzog. Mothes nimmt dies bereits an, und früher hat auch schon Schreiber dieses darauf hingewiesen, wie der König den römischen Patrizius Symmachus als Baumeister im höchsten Grade lobt und ehrt[62]). Als eigentlichen Erfinder seiner Bauten wird man aber immer in erster Linie den König selbst betrachten müssen. Sagt er doch in der Dienstvorhaltung an seinen Hofbaumeister zu diesem: „Sei es, daß wir eine Stadt irgendwo wiederherstellen oder neue feste Plätze anlegen wollen, oder daß die Lieblichkeit eines neu zu erbauenden Hoflagers unserem Geiste schmeichelt, nach Deiner Anordnung wird vor Augen geführt, was in unseren Gedanken erfunden ist. Herrliche Meisterschaft, ruhmvollstes Beginnen, das in so lange Zeitläufte hinauszusenden, weswegen Dich die staunende Nachwelt loben muß.“[63]) Dementsprechend wird man beim Theoderichgrabmale, einem so eigenartig und neu im Anschluß an die ältesten Volksbräuche und Überlieferungen der Ostgoten erfundenen Bauwerke, auch den König selbst als die treibende Kraft und den eigentlichen Erfinder, den oder die ausführenden Meister dagegen nur mehr als die Vollzieher seiner Gedanken, anzusehen haben.

Wir sind nunmehr mit der Betrachtung des Äußeren des Grabmals, das uns Fingerzeige in weite wichtige Gebiete hinaus gab, fertig und müssen uns jetzt dem noch wichtigeren Innern zuwenden, für welches das Äußere nur die angemessene kostbare Schale war. Hierbei werden wir in erster Linie die Beisetzung des Toten in diesem echt germanischen Bau nachweisen müssen und werden bei dieser Gelegenheit nicht umhin können, auch den späteren Verbleib der Gebeine des Königs zu ermitteln.

Felix Dahn nimmt in seinem „Ein Kampf um Rom“ an, daß des Königs sagenhafter alter Waffenmeister Hildebrandt die Leiche Theoderichs während der acht Jahre nach seinem Tode beginnenden Kämpfe zwischen den Goten und Byzantinern auf die Burg Cumae geflüchtet habe, bis sie dann von den aus Italien abziehenden Goten nach dem fernen Island mitgenommen worden sei. Bei dieser freien dichterischen Erfindung ist der Gedanke, daß die aus Ravenna vertriebenen Goten die Leiche ihres größten Königs nicht in den Händen der Feinde zurücklassen konnten, gewiß richtig. Nur Cumae, am fernen Meerbusen von Neapel gelegen, und sowohl auf dem Seewege, wie auf dem noch schwierigeren Landwege von Ravenna aus über die Apenninen nur mit den größten Mühen zu erreichen, ist nicht der gegebene Ort hierfür. Ein anderer, nicht weit von Ravenna gelegener und von Goten nach ihrem Falle besiedelter Platz ist vielmehr als der geeignete Ort anzusehen. Wir werden dort die Gebeine des Königs Theoderich, der zuweilen auch fälschlich Theodor genannt wird, im geheimnisvollen unterirdischen Raume wiederfinden. Aber nicht nur die Kunde davon, daß der König hier beigesetzt ist, ist in Vergessenheit geraten oder vielmehr absichtlich aus staatlichen und kirchlichen Gründen in Vergessenheit gebracht worden, sondern sogar das Vorhandensein des unterirdischen, zuganglosen Raumes selbst war für mehr als hundert Jahre dem Gedächtnis der Menschen überhaupt vollständig entschwunden, obgleich er unmittelbar am lebhaftesten Markt und Verkehrsplatze der belebtesten Handelsstadt des Mittelalters lag. Erst im Jahre 1807 wurde der Raum nach seinem Dornröschenschlaf von neuem wiederentdeckt.

61) Förstemann führt in seinem deutschen Namenbuch etwa 30 verschiedene Namen an, die auf wis (weise, kundig) auslaufen.

62) Vgl. Zentralbl. d. Bauverw. 1898, S. 208 ff., der Architekt zur Zeit Theoderichs des Großen.

63) Formula curae palatii. Cass. Sen. var. VII 5: nam sicubi aut civitatem reficimus aut castellorum volumus fundare novitatem vel construendi nobis praetorii amoenitas blandiatur, te ordinante ad oculos perducitur, quod nobis cogitantibus invenitur. Decorum magisterium, propositum omnino gloriosum, in tam longas aetates mittere, unde te debeat posteritas ammirata laudare.

In dem Gebäude, das sich über diesem unterirdischen Raume erhebt, schimmern die Wände und die Fußböden von dem Glanze des Marmors in herrlichster Arbeit und in den kostbarsten Arten, und die Decken erstrahlen vom Scheine echten Goldes. Über dem Grabe des Herrschers aber sind, wie im Zauberschlafe gebannt, die Gestalten seiner Ritter und Paladine sowie sein ganzes Volk in voller Lebenstätigkeit und regster Beschäftigung in steinernem Bilde von Künstlers Hand festgehalten.

Es ist alles so, wie es in der deutschen Sage vom heimlichen Kaiser und im Märchen von Dornröschen berichtet wird. Schon C. H. v. der Hagen hat vor etwa hundert Jahren darauf hingewiesen, daß Theoderich d. Gr., der Lieblingsheld des deutschen Volkes, der nach der Sage von einem geisterhaften Rosse aus dem von ihm selbst erbauten Dietrichsbade entführt worden sein soll, einer der ersten germanischen Herrscher ist, dem vom Volke die Entrückung nachgesagt wird, der keines natürlichen Todes gestorben, sondern noch irgendwo unterirdisch, sei es im hohlen Berge oder im Zauberschlosse, im Schlafe gebannt sein soll, bis er sich von neuem erhebt, um seinem Volke in der Stunde höchster Gefahr Heil, Sieg und Segen zu bringen. Nur nach hundert Jahren ist es immer möglich, sich seinem Zauberschlosse zu nahen und ihn aufzuwecken.

Unser Weg führt uns wieder zur Markuskirche zurück, die nach den viel zu wenig beachteten Mitteilungen alter venetianischer Schriftsteller, des Dogen Dandalo aus dem 14. Jahrhundert und des Venetianers Stringa vom Jahre 1601, als ein kreuzförmiger Erweiterungsbau einer ehemals an derselben Stelle vorhandenen Theodorskirche errichtet worden sein soll. Daß die Markuskirche wirklich aus einem derartigen Um- und Ausbau hervorgegangen ist, tut ohne weiteres schon ein Blick auf ihren Grundriß (Jahrg. 1911, S. 31 und 1915, S. 31 d. Z.) kund. Gautier hat nach Boito die Markuskirche als ein gigantisches Reliquiarum zu Grabe getragener Kulturen bezeichnet[64]). Wir werden dagegen die angefangene Arbeit fortzusetzen haben, die Markuskirche als einen gigantischen Reliquienschrein nicht vieler Kulturen, sondern im wesentlichen nur einer Kultur, derjenigen Theoderichs und seines Gotenvolkes, nachzuweisen. Dafür, daß wir bei unserer an das Sagen- und Märchenland streifenden weiteren Wanderung den richtigen Weg und den festen Boden unter den Füßen nicht verlieren, soll die früher schon einmal[65]) erwähnte bauliche Einrichtung zur Erhaltung eines offen im Raume sitzenden Toten dienen, für welche Aufgabe bei allseitigem freien Luftzutritt eine Einbalsamierung allein nicht genügt.

In der Sage führt der getreue Eckart den Weg zum heimlichen Kaiser; möge uns hier als Führung die genannte einzigartige Einrichtung dienen, die mit derselben nüchternen Sachlichkeit zu behandeln sein wird, wie etwa oben die Maschen eines Flechtwerkes oder die Zusammenfügung von Türbekleidungsecken im Holzbau untersucht wurden. Seitdem die Krypta unter der Markuskirche im Jahre 1807 nach mehr als hundertjähriger Vergessenheit wiederentdeckt worden ist, und seitdem 1817 Rückert sein Lied vom alten Barbarossa, dem Kaiser Friederich sang, sind nunmehr wieder hundert Jahre verflossen. Mag es darum jetzt an der Zeit sein, von neuem an das Grab des heimlichen Kaisers heranzutreten, der nach alter Sage sein Volk zu Sieg und Segen nach gewonnener Schlacht auf dem Walser- oder Birkenfelde führen soll.

64) Un gigantesco reliquiario delle civilta sepolte. Vgl. Boito, Architettura dell medio Evo in Italia, Mailand 1880, S. 380.

65) Jahrg. 1914 d. Z., S. 300.

Unregelmäßige Strömungen.

Vom Regierungs- und Baurat, Geheimen Baurat Jasmünd in Lüneburg.

(Mit Abbildungen auf Blatt 11 bis 13 im Atlas.)

Im Jahre 1893 konnte ich auf Grund der an der Elbe gesammelten Beobachtungen den Nachweis liefern[1]), daß die logarithmische Linie von der Form:

$$y = a + b \cdot \log(x + c) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

das allgemeine für die Abnahme der Wassergeschwindigkeiten vom Wasserspiegel bis zur Flußsohle gültige Grundgesetz in zutreffender Weise ausdrückt, wenn y die Geschwindigkeit des Wassers, x die lotrechte Höhe über dem Fußpunkt der Höhenfeststellungen, a, b und c Konstanten bezeichnen (Text-Abb. 1). Die alten Anschauungen, die auf der Parabel beruhten, zeigten sich in der Wirklichkeit als unhaltbar, und auch andere Formen der Kegelschnittlinien, wie Ellipse und Hyperbel, mußten vor der logarithmischen Linie zurücktreten. Im Jahre 1897 konnte ich in einige Einzelbetrachtungen über die Bedeutung und Größe der Konstanten a, b und c eintreten, besonders aber den Nachweis liefern, daß die logarithmische Linie auch bei Behinderung des Wassers an seiner Oberfläche noch in vollem Umfange in Geltung bleibt.[2]) Die Wirkung von Einzelhindernissen an der Oberfläche, wie z. B. von verankerten Flößen und Schiffen, beschränkt sich ebenso wie die Wirkung einer geschlossenen, festen Eisdecke auf einen gewissen oberen Teil der gesamten Wassertiefe und ist in tieferer Lage nicht mehr spürbar. Bei Einzelhindernissen nimmt die Wirkung in einfachem linearen Verhältnis zur Tiefe unter Wasser ab.

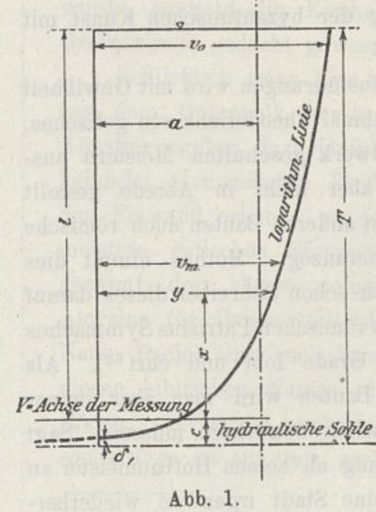


Abb. 1.

1) „Die Einwirkungen der Flußsohle auf die Geschwindigkeit des fließenden Wassers", Zeitschr. f. Bauwesen 1893 S. 121 u. ff.

2) „Die Veränderung der Geschwindigkeiten im Querschnitt eines Stromes, insbesondere bei Behinderung an der Oberfläche und bei Eisstand", Zeitschr. f. Bauwesen 1897 S. 303 u. ff.

Im Handbuch der Ingenieurwissenschaften, III. Teil, I. Band S. 466, beschränkte ich mich 1906 auf den Hinweis, daß auch die am Rhein 1895 bis 1898 ausgeführten Messungen zu dem Ergebnis geführt hätten, daß die Form der logarithmischen Linie desto schärfer zum Ausdruck gelangte, je größer die Zahl der zugrunde liegenden Beobachtungen war. Volle 25 Jahre sind darüber hingegangen, seitdem ich die Hoffnung aussprach, daß auch an anderen Strömen das aufgestellte Gesetz erprobt und als allgemein zutreffend erwiesen werden würde. Neue Wahrheiten brechen sich alten eingewurzelten Irrtümern gegenüber nur sehr langsam Bahn.

A. Vorbemerkungen.

Mit Recht wies Ingenieur Lippke in seinen „Untersuchungen über die Verteilung der Wassergeschwindigkeiten in den Querschnitten der natürlichen Ströme“ 1911 darauf hin, daß die Forschung über die Bewegungsgesetze im Innern einer fließenden Wassermasse sich notwendigerweise anlehnen müsse an die Gesetze, von denen die in der Lotrechten eines Stromquerschnittes vorhandenen Geschwindigkeiten beherrscht würden. Nur aus den Gesetzen der Geschwindigkeitskurve der Lotrechten lassen sich die Eigenschaften des Fließens als Naturvorgang erklären, und nur durch sie erwächst die Grundlage zu einer wissenschaftlichen Begründung der Abflußformeln. Auch der Weg zur Erkenntnis derjenigen Gesetze, nach welchen der Strom das ihm durch die Schwerkraft verliehene Arbeitsvermögen zur Bildung seines Bettes und zur Fortführung der Geschiebemassen verwendet, führt nur über das Bewegungsgesetz in der Lotrechten.

In seiner „Praktischen Hydraulik“ im Handbuch der Ingenieurwissenschaften, III. Teil, I. Band S. 520, hat Bubendey den Versuch gemacht, bei Erörterung der ungleichförmigen Bewegung des Wassers die logarithmische Linie zu verwenden. Er gelangt dabei zu Ergebnissen, die mit den ausgeführten Messungen und älteren Annahmen von de St. Venant gut übereinstimmten. Eine erschöpfende theoretische Bearbeitung ist damit aber noch nicht gegeben.

Bei den neueren Betrachtungen spielt die Turbulenz[3]) eine erhebliche Rolle. Krey nennt sie auch „Flechtströmung“ und bezeichnet damit den Bewegungsvorgang, der sich im Innern einer fließenden Wassermasse aus dem Geschwindigkeitsunterschiede benachbarter Wasserteilchen herleitet. Die Turbulenz verdankt ihr Entstehen also dem Unterschiede, der im Innern der Wassermasse zwischen hydrostatischem und hydraulischem Druck obwaltet. Ihr Maßstab müßte die Größe des Geschwindigkeitsgefälles quer zur Stromrichtung, in lotrecher Hinsicht also die Abnahme der Geschwindigkeiten vom Wasserspiegel bis zur Sohle sein. Je stärker die Turbulenz ist, desto mächtiger ist jedenfalls der Austausch von Bewegungsenergie zwischen den einzelnen Wasserschichten, und desto größer ist die innere Reibung. In der Turbulenz kommt die Arbeit der inneren Kräfte zum Ausdruck.

Daß wir es in der Natur fast niemals mit gleichförmiger, laminarer Bewegung zu tun haben und alle Erörterungen in dieser Hinsicht nur theoretische Bedeutung besitzen, dürfte heute wohl niemand mehr bezweifeln. Schon bei konstantem Querschnitt bedingt die Berührung des Wassers mit der festen Wandung eine zwangläufige, gebundene Bewegungsform des fließenden Wassers. Bei veränderlichem Querschnitt treten zu diesen gesetzmäßigen Bewegungsformen noch unregelmäßige Strömungen hinzu, da hier die gesamte Bewegungsenergie nicht mehr konstant bleibt, sondern bei einseitiger Beschleunigung oder Verzögerung der Bewegung gewissen Veränderungen unterliegt.

Um so wichtiger ist es, den tatsächlichen Sachverhalt durch möglichst vielseitige Beobachtungen aufzuklären, damit wenigstens über die großen Hauptfragen mehr Licht ausgebreitet wird. In dieser Hinsicht liefern die neuen Untersuchungen von Bölte[4]) einen wertvollen Beitrag. Auch Bölte gelangt zu dem Schluß, daß die logarithmische Linie für die Geschwindigkeitsänderung in der Lotrechten den Vorzug verdient vor allen anderen Kurven, die er zur Untersuchung heranzog, und er ist dabei nicht zurückhaltend; denn er zieht 18 verschiedene Gleichungsformen in Erwägung. Der Gang seiner Untersuchung deckt sich mit dem von mir 1893 eingeschlagenen Wege: Beobachtung in bestimmten Höhen über Flußsohle, Mittelwertbildung, Fehlervergleich zwischen Messung und Rechnung.

Für die Warthemessungen ergibt sich dabei ungefähr derselbe Genauigkeitsgrad von 5 bis 6 vT. wie früher bei den Elbemessungen. Die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung ist so weitgehend, daß m. E. an der Gültigkeit der logarithmischen Linie für die Geschwindigkeitskurven in der Lotrechten im allgemeinen nicht gezweifelt werden kann. Zwischen den Ausführungen Böltes und meinen früheren Darlegungen besteht nur in der Lage und Größe der mittleren Geschwindigkeit ein kleiner Unterschied, der darauf hinausläuft, welcher Wert für die Wassertiefe der Lotrechten in Ansatz zu bringen ist: ob die an der Flügelmeßstange gemessene Tiefe, wie Bölte es will, oder die Tiefe vom Wasserspiegel bis dahin, wo die Geschwindigkeit gleich Null ist, wie ich es annehme. An sich ist diese Frage unwesentlich, und ich beschränke mich darauf, meine früheren Ausführungen von 1893 in vollem Umfange aufrecht zu erhalten.

Einer besonderen Erwähnung bedarf nur die Frage, ob in der allgemeinen Gleichung $y = a + b \cdot \log(x + c)$ der Wert c grundsätzliche Bedeutung hat. Bölte glaubt meiner Ansicht, daß c im allgemeinen Durchschnitt gleich Null gesetzt werden könne, nicht beitreten zu dürfen. Insbesondere ficht er eine von mir auf S. 315 des Jahrganges 1897 d. Ztschr. gegebene Herleitung an. Ich hatte damals für 1214 einzelne Lotrechte schematisch nach einem bestimmten Rechnungsverfahren, das Bölte auf S. 637 richtig wiedergibt und das er ebenfalls anwendete, die Werte für c berechnet und für bestimmte kleine Zwischenräume von je 10 cm Höhe die Häufigkeit des Auftretens von c ermittelt. Aus der zeichnerischen Auftragung dieser Häufigkeitszahlen zog ich den Schluß, daß der wahrscheinlichste Wert für c etwa — 3 cm betragen müsse. Bölte meint, sämtliche Werte berücksichtigen zu müssen, und ist der Ansicht, daß der Wert von c stark positiv werden müsse. Bei Zugrundelegung der drei höchsten Wertpaare $x_{I} = -0{,}15$ und $y_{I} = 122$, $x_{II} = -0{,}05$ und $y_{II} = 333$, $x_{III} = +0{,}05$ und $y_{III} = 244$ berechnet sich nach der Wahrscheinlichkeitsgleichung: $y = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-b^2(x-c)^2}$ der Wert c zu — 0,02365 m.

3) H. Krey, „Die Grundlagen der Wasserbewegung in unsern Flüssen“, Zeitschr. f. Bauwesen 1914 S. 799 u. ff.

4) Bölte, „Die Geschwindigkeitsveränderung in den Lotrechten natürlicher Flüsse, insbes. der Warthe“, Zeitschr. f. Bauw. 1916 S. 381.

Der angegebene Wert von 3 cm ist also annähernd richtig. Wie aus den nachfolgenden Betrachtungen hervorgeht, bestehen aber im Einzelfall außerordentliche Verschiedenheiten und begründete Abweichungen; alle Lotrechten in der Nähe der Ufer und alle Lotrechten mit Geschiebeführung an der Sohle, alle Lotrechten mit abweichendem Sohlengefälle und alle Lotrechten mit Behinderungen an der Oberfläche oder mit Querströmungen müßten eigentlich ausscheiden, da für sie begründete Abweichungen von der allgemeinen Grundform — unregelmäßige Strömungen — bestehen. Hier können also nur dauernd fortgesetzte Einzelstudien uns weiter bringen. Der Schlußfolgerung, daß in der allgemeinen Gleichung

$$y = a + b \cdot \log(x + c)$$

der Wert c nicht gleich Null gesetzt werden dürfe, weil bei Berechnung der Lotrechtenmittelwerte sich regelmäßig ein positiver reeller Wert für c ergebe, vermag ich jedenfalls nicht beizutreten. Ich halte den Wert c nur für eine Korrektur der Messung, die notwendig ist, weil der Beobachter nicht in der Lage ist, den Nullpunkt seiner Höhenbestimmungen von vornherein in die Höhe der hydraulischen Flußsohle einzustellen. Das allgemeine Grundgesetz ist meiner Ansicht nach durch die Gleichung $y = a + b \cdot \log x$ erschöpft.

B. Fehler der Mittelwertbildung.

Wenn man die Fehlerzusammenstellung von Bölte auf S. 662 a. a. O. für die Gleichung $y = a + b \cdot \log(x + c)$ sich näher ansieht, könnte man allerdings zweifelhaft werden, ob selbst bei Berücksichtigung des Wertes c die Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung als genügend angesehen werden kann. Die mittleren Fehler sind zwar ihrer Größe nach nur gering, aber die Gruppierung derselben erregt Verdacht. Von 0,20 bis 0,60 m über Sohle sind die Rechnungswerte meist etwas zu klein, von 1 bis 2 m über Sohle etwas zu groß, danach werden sie wieder zu klein, und in der Nähe des Wasserspiegels zeigen sie einen scharfen Übergang ins Positive. Die Regelmäßigkeit der Abweichungen könnte der Anschauung Vorschub leisten, daß die logarithmische Linie doch wohl höchstens eine praktische Näherungsformel, aber nicht das Gesetz selbst biete. Diese Befürchtung ist jedoch nicht berechtigt. Die bemerkbaren Abweichungen haben ihren Grund vielmehr hauptsächlich in dem Rechnungsverfahren, nicht in der Sache selbst. Sie beruhen im wesentlichen auf der mathematisch nicht ganz einwandfreien Mittelwertbildung.

Für Elbe und Warthe ist das rechnerische Vorgehen ein und dasselbe. Aus den in bestimmten Höhen über der Flußsohle gemessenen Geschwindigkeiten wurden lediglich die arithmetischen Mittelwerte hergeleitet. Die Ursache dieses Vorgehens und die Absicht, die dabei befolgt wurde, habe ich in meinen Ausführungen von 1893 in der Einleitung auseinandergesetzt. Es handelte sich damals darum, den Einfluß örtlicher Verschiedenheiten möglichst herabzustimmen. Dabei wies ich schon damals darauf hin, daß diese Mittelwertbildung nur für die Parabel und für die einfache Form der logarithmischen Linie, also für $y = a + b \cdot \log x$ Werte liefern könne, die der Form nach mit den Messungen übereinstimmten. Die arithmetische Mittelwertbildung von Parabelzweigen oder logarithmischen Kurven einfacher Art liefert ebenfalls wieder Parabeln oder einfache logarithmische Linien. Bei allgemeinen Kegelschnittgleichungen, bei Hyperbeln oder bei logarithmischen Linien von der Form $y = a + b \log(x + c)$ ist dies aber nicht mehr der Fall. Die Gleichungen

$$y_{\mathrm{I}} = a_{\mathrm{I}} + b_{\mathrm{I}} \log(x + c_{\mathrm{I}}),$$
$$y_{\mathrm{II}} = a_{\mathrm{II}} + b_{\mathrm{II}} \log(x + c_{\mathrm{II}}),$$
$$y_{\mathrm{III}} = a_{\mathrm{III}} + b_{\mathrm{III}} \log(x + c_{\mathrm{III}}) \text{ usw.}$$

liefern den Mittelwert für ein bestimmtes x:

$$\frac{y_{\mathrm{I}} + y_{\mathrm{II}} + y_{\mathrm{III}} \cdots + y_n}{n} = \frac{a_{\mathrm{I}} + a_{\mathrm{II}} + a_{\mathrm{III}} \cdots + a_n}{n} + \frac{\log\left[(x + c_{\mathrm{I}})^{b_{\mathrm{I}}} \cdot (x + c_{\mathrm{II}})^{b_{\mathrm{II}}} \cdot (x + c_{\mathrm{III}})^{b_{\mathrm{III}}} \ldots (x + c_n)^{b_n}\right]}{n}.$$

Die rechte Seite stellt nur dann eine Gleichung von der Form

$$y = A + B \cdot \log(x + c)$$

her, wenn bei allen Einzelkurven der Wert c dieselbe unveränderliche Größe darstellt oder überall gleich Null ist. In allen anderen Fällen — und das ist wohl bei wirklichen Messungen die Regel — würde sich eine logarithmische Linie höherer Ordnung ergeben, die von dem Verlauf der einfachen logarithmischen Linie erheblich abweichen könnte. Der Beweis, daß die Mittelwertkurve der Gleichung $y = a + b \cdot \log(x + c)$ entspricht, hätte also keine Gültigkeit für die Beschaffenheit der Einzelkurven, wäre also belanglos.

Welcher Art und von welcher Größe sind nun die Fehler, mit denen die Mittelwertkurven bei der logarithmischen Linie ihrer Herleitung zufolge behaftet sein müssen? Diese Frage wird brennend, wenn nicht die ganzen Schlußfolgerungen ihren Boden verlieren sollen.

Bei der Prüfung dieser Frage gehe ich von der Voraussetzung aus, daß die Einzelkurven wirkliche, genau berechnete logarithmische Linien von der Form $y = a + b \cdot \log(x + c)$ seien. Für die allgemeinen Konstanten a und b sind Werte gewählt, wie sie der Wirklichkeit annähernd entsprechen, und zwar $a = 1{,}0$ und $b = 0{,}5$. Für c sollen verschiedene voneinander abweichende Werte und zwar 1) einmal ± 0, dann 2) $+ 0{,}10$, dann 3) $+ 0{,}20$ eingesetzt und bis 3 m über Sohle die y-Werte berechnet werden. Für die im Falle 1 und 2 und im Falle 1 und 3 hergeleiteten arithmetischen Mittel soll dann nach den von mir 1893 in Anmerkung 9 angegebenen Formeln:

$$c = \frac{x_{\mathrm{II}}^2 - x_{\mathrm{I}} x_{\mathrm{III}}}{x_{\mathrm{I}} + x_{\mathrm{III}} - 2 x_{\mathrm{II}}},$$

$$b = \frac{y_{\mathrm{I}} - y_{\mathrm{II}}}{\log \frac{x_{\mathrm{I}} - x_{\mathrm{II}}}{x_{\mathrm{III}} - x_{\mathrm{II}}}},$$

$$a = \frac{\Sigma y - b \cdot \Sigma \log(x + c)}{n}$$

die Ausgleichslinie berechnet werden von der Form $y_{\mathrm{I}} = a_{\mathrm{I}} + b_{\mathrm{I}} \cdot \log(x + c_{\mathrm{I}})$, die sich diesen Mittelwerten am besten anschließt. Daß sich bei dieser Rechnung für c_{I} nicht einfach das arithmetische Mittel der vorausgesetzten Werte c ergeben kann, ist für die Anschauung leicht nachzuweisen, wenn man sich die Mittelwertkurve von zwei logarithmischen Linien mit verschiedenen c-Werten aufgetragen denkt. Die Mittelwertkurve kann keinen Punkt enthalten, der tiefer läge als die y-Achse der logarithmischen Grundkurve mit dem kleinsten c, da der Wert von y hier $-\infty$ wird. Die Mittelwertkurve muß also in ihrem unteren Teile, etwa bis $x = 1{,}0$, stärkere Krümmung erhalten, als die Grundkurven, während sie über 1,0 etwas abgeflacht wird.

Führt man die Rechnung durch, so erhält man
1) für $c' = \pm 0$ und $c'' = +0{,}10$ die Gleichung:

$$y_I = 1{,}00244 + 0{,}4964 \lg(x + \mathbf{0{,}039}),$$

2) für $c' = \pm 0$ und $c'' = +0{,}20$ die Gleichung:

$$y_{II} = 1{,}0072 + 0{,}48975 \lg(x + \mathbf{0{,}0645}).$$

Der neue Wert für c_I ist also nicht $\frac{c' + c''}{2}$, sondern beträgt nur etwa den dritten Teil der arithmetischen Summe. Auch a und b ändern sich. Der Vergleich für die einzelnen Höhen über Sohle stellt sich dann, wie folgt:

Höhe x über Sohle	I $y = 1{,}00 + 0{,}5 \log(x + 0)$	II $y = 1{,}00 + 0{,}5 \log(x + 0{,}1)$	III $y = 1{,}00 + 0{,}5 \log(x + 0{,}2)$	Mittel $\frac{I + II}{2}$	Mittel $\frac{I + III}{2}$	y_I	y_{II}	Fehler von y_I		Fehler von y_{II}	
								+	—	+	—
m	m	m	m	m	m	m	m				
3,0	1,2386	1,2457	1,2526	1,2422	1,2456	1,2421	1,2454	.	1	.	2
2,5	1,1990	1,2075	1,2157	1,2033	1,2074	1,2033	1,2074	.	0	.	0
2,0	1,1505	1,1611	1,1712	1,1558	1,1609	1,1560	1,1614	2	.	5	.
1,5	1,0881	1,1021	1,1152	1,0951	1,1017	1,0954	1,1024	3	.	7	.
1,0	1,0000	1,0207	1,0396	1,0104	1,0198	1,0108	1,0205	4	.	7	.
0,6	0,8890	0,9225	0,9515	0,9058	0,9203	0,9058	0,9203	0	.	0	.
0,3	0,7385	0,8010	0,8495	0,7698	0,7940	0,7692	0,7926	.	6	.	14
0,15	0,5880	0,6989	0,7720	0,6435	0,6800	0,6432	0,6798	.	3	.	2
								$m = 0{,}38$ mm		$m = 0{,}81$ mm	

Mit wachsendem Werte von c nimmt danach die Ungenauigkeit der Ausgleichkurve in steigendem Maße zu. Von besonderer Bedeutung ist jedoch die Form der Abweichungen. Die Fehler gruppieren sich in bestimmter Richtung. Unter 0,6 m Höhe sind sie negativ, bis 2,5 m Höhe dann positiv, darüber wieder negativ. Diese Schwankungsfolge deckt sich aber nun mit den oben angegebenen Fehlerrichtungen auf S. 662 der Bölteschen Untersuchung, deckt sich auch mit den Fehlerschwankungen, die bei meinen Berechnungen für die Elbe sich 1893 ergaben. Wenn sich aber bei der angewandten Berechnungsart unter Zugrundelegung wirklicher logarithmischen Linien schließlich bei der Ausgleichung bestimmte Fehlerfolgen ergeben, so darf man den Spieß auch umdrehen, und aus dem Auftreten ähnlicher Fehlerfolgen im praktischen Einzelfall auf das Vorliegen wirklicher logarithmischen Linien schließen.

Zur weiteren Klärung der Frage habe ich auch für ein negatives c die Rechnung durchgeführt, indem ich einmal $c' = -0{,}10$ und dann $c'' = +0{,}10$ annahm. Man sollte glauben, daß sich da bei der Mittelwertgleichung $c_I = 0$ ergeben müßte, tatsächlich wird die Gleichung aber $y_{III} = 0{,}0245 + 0{,}9639 \log(x - \mathbf{0{,}0529})$. Dabei bin ich nur von der Form $y = \log(x + c)$ ausgegangen und habe die Konstanten a und b weggelassen, was ja unwesentlich ist. Der Vergleich zwischen Mittelwert und Ausgleichungskurve ist dann folgender:

x	IV $y = \log(x - 0{,}1)$	II $y = \log(x + 0{,}1)$	Mittel $\frac{IV + II}{2}$	y_{III}	Fehlerwerte	
					+	—
m	m	m	m	m		
3,0	0.4624	0,4914	0,4769	0,4769	.	0
2,5	0,3802	0,4150	0,3976	0,3991	15	.
2,0	0,2788	0,3222	0.3005	0.3035	30	.
1,5	0,1461	0,2041	0,1751	0,1792	41	.
1,0	— 0,0458	0,0114	—0,0022	0,0018	40	.
0,6	— 0,3010	— 0,1549	—0.2280	—0.2280	.	0
0,3	— 0.6990	— 0 3979	- 0,5485	— 0,5607	.	122
0,15	— 1,3010	— 0,6021	—0,9516	—0,9517	.	1
					$m = 6{,}2$ m	

Bei negativen Werten von c wird die Größe der Abweichungen also noch weit beträchtlicher als bei positiven. Der mittlere Fehler $m = \sqrt{\frac{\Sigma \delta^2}{n - 3}}$ berechnet sich zu 6,2 mm und geht noch über das von Bölte auf S. 662 in Spalte 17a angegebenen Maß von 5 mm hinaus. Allerdings ist dabei $b = 1{,}0$ angenommen.

Die Ursache dieser Erscheinung liegt also in praktischer Hinsicht lediglich in der ungenauen Wahl des Höhennullpunkts. Es genügt eine Ungenauigkeit in der Tiefenmessung von 10 cm zu hoch oder zu tief, um für $b = 1{,}0$ bei der Mittelwertbildung zu Fehlern von i. M. 6,2 mm zu gelangen. Wer will aber behaupten, daß er beim Messen den Fußpunkt der Flügelführungsstange auf 10 cm genau in die Flußsohle einzustellen vermag? Das Maß von 10 cm stellt den Unterschied dar, der zwischen Tiefenmessung mit der Flügelstange und freier Peilung bei NW fast regelmäßig besteht; bei höheren Wasserständen steigt dieses Maß sogar auf 20 und 30 cm. Nach meinen Einzelberechnungen von 1214 Lotrechten ergab sich, daß in 333 + 244 = 577 Fällen der Wert c zwischen + 0,10 und — 0,10 lag, genau gleich Null ergab er sich selten. Der zuletzt betrachtete Fall, daß c negativ ist, kommt also in Wirklichkeit recht häufig vor (244mal von 577 Fällen). Die Grenzschicht hat sich hier von der Sohle losgelöst. Wo bleibt aber bei negativem c die Sohlengeschwindigkeit? Spricht die starke Schlickansammlung, die sich in örtlichen Einzelsenkungen auf dem Vorlande einzustellen pflegt, nicht dafür, daß tatsächlich sich ein ruhender Zustand einstellt?

Bemerkenswert ist auch der Zusammenhang, der zwischen den Änderungen der Werte a und b bei der Mittelwertbildung besteht. Diese Änderungen sind

bei Lotrechte $\frac{I + II}{2}$ für $\triangle a = 0{,}0024$, für $\triangle b = -0{,}0036$,

bei Lotrechte $\frac{I + III}{2}$ für $\triangle a = 0{,}0072$, für $\triangle b = -0{,}0102$,

bei Lotrechte $\frac{II + IV}{2}$ für $\triangle a = 0{,}0245$, für $\triangle b = -0{,}0361$.

Es ist also auch hier bei a die Änderung ein konstantes Vielfaches der negativen Änderung von b, wie ich dies auf S. 472, Jahrg. 1897 der Zeitschr. f. Bw. schon allgemein hergeleitet und für die Pulsation des Wassers durch die Gleichung $da = -k \cdot db$ ausgedrückt hatte. Einem Anwachsen

von a entspricht eine proportionale Verringerung von b. Das Verhältnis beider Änderungen ist anscheinend von der Tiefe abhängig, hier $k = 1,5$, also $= \frac{t}{2}$.

Zur Veranschaulichung der Abweichungen sind in Text-Abb. 2 die Fehler der drei Mittelwerte dieser Untersuchung und

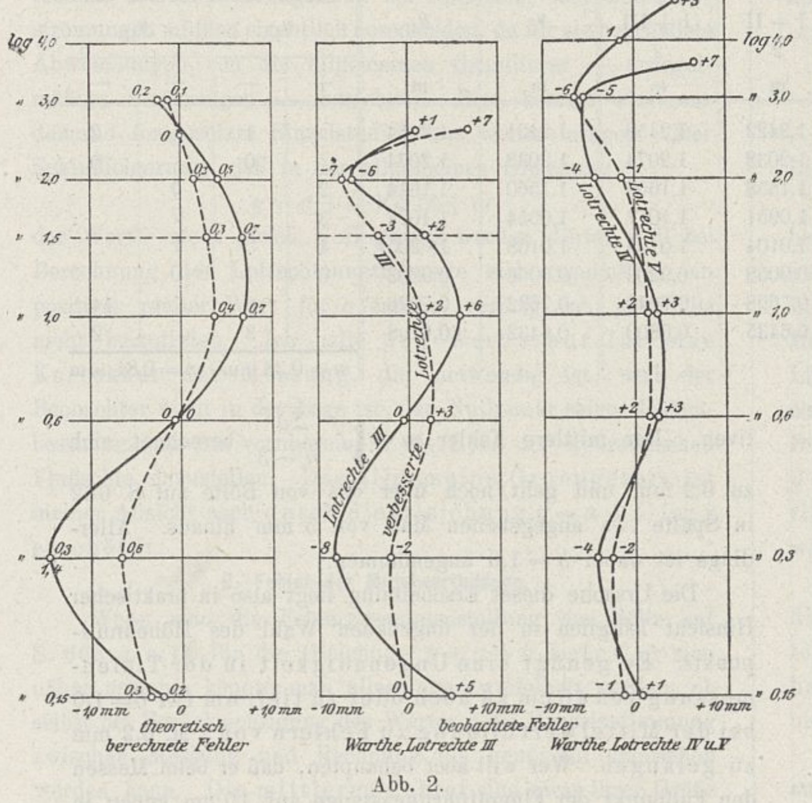


Abb. 2.

die Fehler für die Lotrechten III, IV und V der Warthe zeichnerisch dargestellt. Der übereinstimmende Verlauf derselben läßt die Folgerung berechtigt erscheinen, daß die systematischen Fehler, die sich bei der gewählten Berechnungsart ergaben, keinen Anfechtungsgrund, sondern im Gegenteil eine Bestätigung dafür liefern, daß die Grundform der Geschwindigkeitskurve tatsächlich eine logarithmische Linie ist.

C. Die zeichnerische Darstellung der Geschwindigkeitskurve.

Bei kritischen Betrachtungen über die Form von Kurven bin ich dem Einwand begegnet, daß die logarithmische Linie ihrer Natur nach außerordentlich befähigt sei, sich allen möglichen Krümmungsverhältnissen und regelmäßigen Krümmungsänderungen anzupassen, ihre gute Verwendbarkeit sei also nicht auffällig. Das ist an sich richtig, solange es sich um eine stetige Abnahme oder um eine stetige Zunahme der Krümmungen handelt. Für die zwischen $x = 0$ und $x = 1$ gelegenen Teile der logarithmischen Linie, für die es sich um beides zugleich handelt, ist das aber doch nicht zutreffend. Es bedarf diese Frage daher einer besonderen Beleuchtung.

Bei der gewöhnlichen zeichnerischen Darstellung, wo man x und y ihrem gemessenen Werte entsprechend nach irgendeinem Maßstabe aufträgt, treten die verschiedenen Krümmungsverhältnisse der Geschwindigkeitskurve allerdings nur sehr undeutlich hervor. Ich habe daher seit Jahren schon für die Werte von x die logarithmische Darstellung bevorzugt, indem ich mir auf einfachem Millimeterpapier für die lotrechte Richtung der x-Werte eine logarithmische Teilung im Maßstabe 1 : 10 darstellte. Wenn die Gleichung $y = a + b \log x$ für die Beziehung der zusammengehörigen Werte von y und $\log x$ besteht, so muß in der zeichnerischen Darstellung auf logarithmisch geteiltem Papier die entstehende Kurve zur geraden Linie werden. Es ist auffallend, wie sich bei der Auftragung in der Tat die einzelnen Punkte der Beobachtungswerte bald mit gewissen kleinen Schwankungen, bald in voller Schärfe zu einer geraden Linie zusammensetzen. Zahlen, denen man zu Anfang bedenklich gegenüberstand, ordnen sich dabei oft in überraschender Weise zu einer geraden Flucht.

Eine Störung bietet nur der Wert c, da man bei Zugrundelegung wirklicher Messungen immer von der Gleichung $y = a + b \cdot \log(x + c)$ ausgehen muß. Ein positives c hat eine schwache Krümmung zur Folge, deren hohle Seite der positiven y-Richtung zugekehrt ist, ein negatives c eine umgekehrte schwache Krümmung. Entwickeln wir $\log(x + c)$ in eine Reihe, so wird:

$$\log(x + c) = \log x + \\ + 2M\left[\frac{c}{2x+c} + \frac{1}{3}\left(\frac{c}{2x+c}\right)^3 + \frac{1}{5}\left(\frac{c}{2x+c}\right)^5 \ldots\ldots\right],$$

wo M der Modul des natürlichen Logarithmensystems $= 0,43429$ ist. Die Abweichung der schwach gekrümmten Kurve von der Geraden in lotrechtem Sinne ist also:

$$\log(x + c) - \log x = \\ = 2M\left[\frac{c}{2x+c} + \left(\frac{c}{2x+c}\right)^3 \frac{1}{3} + \frac{1}{5}\left(\frac{c}{2x+c}\right)^5 \ldots\ldots\right].$$

Für verschiedene Werte von c berechnet sich danach $\log(x + c) - \log x$ wie folgt:

Werte von $\log(x + c) - \log x$ in mm.

x m	$c = -0,10$ mm	$c = -0,05$ mm	$c = +0,05$ mm	$c = +0,10$ mm	$c = +0,15$ mm	$c = +0,20$ mm
0,15	+ 477	+ 176	− 125	− 222	− 301	− 368
0,30	+ 176	+ 79	− 67	− 125	− 176	− 222
0,6	+ 79	+ 38	− 35	− 67	− 97	− 125
1,0	+ 46	+ 22	− 21	− 41	− 61	− 79
2.0	+ 22	+ 11	− 11	− 21	− 31	− 41
3,0	+ 15	+ 7	− 7	− 14	− 21	− 28
4,0	+ 11	+ 5	− 5	− 11	− 16	− 21
5,0	+ 9	+ 4	− 4	− 9	− 13	− 17
6,0	+ 7	+ 4	− 4	− 7	− 11	− 14
7,0	+ 6	+ 3	− 3	− 6	− 9	− 12

Bei negativen Werten von c und bei großen Werten von b machen sich diese Krümmungen mit Entschiedenheit geltend. An der Hand dieser Tabelle kann man prüfen, ob und in welchem Umfange die Abweichung auf das Vorhandensein eines Wertes c zurückzuführen ist.

Unterzieht man die Werte von x vor ihrer Auftragung einer Berichtigung, indem man den Wert von c für jede Lotrechte nach der auf S. 168 angegebenen Formel berechnet und dann für die berichtigten Werte von $(x + c)$ die Logarithmen aufträgt, so fällt auch diese Störung fort, und es ergeben sich gerade Linien, aus denen die spezifische Geschwindigkeit a und das Steigungsverhältnis b der logarithmischen Linie ohne weiteres abgelesen werden kann. Der Wert a ist gegeben für $\log(x + c) = 0$ und der Wert $b = \frac{y_I - y_{II}}{\log(x_I + c) - \log(x_{II} + c)}$, d. h. durch eine in Wirklich-

keit sehr einfache, leicht im Kopf ausführbare Rechnung zu ermitteln. Der durchschnittliche Wert von b ergibt sich aus dem durchschnittlichen Ansteigen der geraden Linie zur x-Achse. Im Schnittpunkt der geraden Linie mit der logarithmischen x-Achse ist die Geschwindigkeit gleich Null. Der Wert v_m, d. h. die mittlere Geschwindigkeit liegt um 0,434 m unter dem Wasserspiegel. Die logarithmische Darstellung bietet also nach den verschiedensten Richtungen unmittelbaren Aufschluß, so daß ich dieselben in den nachfolgenden Ausführungen ausschließlich anwenden werde.

Was nun die Krümmungsverhältnisse der logarithmischen Linie anbetrifft, so ist der Krümmungshalbmesser

$$\varrho = \frac{\left(1+\frac{b^2}{x^2}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot x^2}{b} = \frac{(x^2+b^2)^{\frac{3}{2}}}{b \cdot x},$$

und da $(x^2+b^2)^{\frac{1}{2}} = T$,

d. h. gleich der Länge der Tangente vom Punkte x bis zum Schnittpunkt mit der y-Achse ist, so wird

$$\varrho = \frac{T^3}{b \cdot x}.$$

Da b nur einen kleinen Wert unter 1,0 darstellt, so kann für größere Werte von x der Ausdruck $(x^2+b^2) = x^2$ gesetzt werden, und es wird dann ϱ annähernd $= \frac{x^2}{b}$, entspricht also in seiner Veränderlichkeit einer Parabel. Mit wachsendem x nimmt es in quadratischem Verhältnis zu bis zu unbeschränkten Grenzen. Für kleine Werte von x stellt sich die Sache aber anders. Der kleinste Wert ϱ unterliegt bestimmten Bedingungen.

Bilden wir von $\varrho = \frac{(x^2+b^2)^{\frac{3}{2}}}{bx}$ die erste Ableitung

$$\frac{d\varrho}{dx} = \frac{3}{2} \cdot \frac{2 \cdot bx^2(x^2+b^2)^{\frac{1}{2}} - b(x^2+b^2)^{\frac{3}{2}}}{b^2 \cdot x^2}$$

und setzen diesen Ausdruck gleich Null, so wird, wenn wir vorübergehend $x^2+b^2 = T^2$ einführen, $3x^2T = T^3$ oder, da $x^2 = T^2 - b^2$ ist, $3T^3 - 3Tb^2 = T^3$ oder $2T^2 = 3b^2 = 2(x^2+b^2)$. Mithin wird die Höhe, wo der Krümmungshalbmesser ϱ ein Minimum wird,

$$x = b \cdot \sqrt{\frac{1}{2}}.$$

Es ergibt sich dann $\varrho_{\min} = 2{,}5975\, b$ und $\left(\frac{1}{\varrho}\right)_{\max} = \frac{0{,}385}{b}$.

Für die Elbe und Warthe schwankt der Wert b zwischen 0,2 und 0,5, mithin geht hier die Größe des Krümmungshalbmessers bis auf 0,52 m bzw. 1,30 m herab. Die schärfste Krümmung steigt dementsprechend bis zu 1,92 bzw. 0,77. Die Höhe der schärfsten Krümmung über der hydraulischen Flußsohle schwankt zwischen 0,14 m und 0,36 m. Die Messungen in 0,15 bzw. 0,30 m über Sohle sind also gerade für die Erfassung der Krümmungsverhältnisse der logarithmischen Linie von besonderer Bedeutung.

Um die Größe und Aufeinanderfolge der Krümmungen näher zu beleuchten, sind nachstehend für diejenigen Höhen über Flußsohle, in denen die Geschwindigkeit tatsächlich gemessen wurde, die Werte für den Krümmungshalbmesser ϱ, für das Krümmungsverhältnis $\frac{1}{\varrho}$ und den Winkel der Tangente $\frac{dy}{dx} = \operatorname{tang} \varphi = \frac{b}{x}$ zusammengestellt worden.

Höhe x über Sohle	ϱ		$\frac{1}{\varrho}$		$\operatorname{tang} \varphi =$	
	$b = 0{,}20$	$b = 0{,}50$	$b = 0{,}20$	$b = 0{,}50$	$b = 0{,}2$	$b = 0{,}5$
m	m	m	m	m	m	m
0,15	**0.521**	1,897	**1.919**	0,527	1,333	3,333
0,30	0,781	**1,322**	1,280	**0,756**	0,667	1.667
0,6	2,108	1,415	0,474	0,630	0,333	0.833
1,0	5 303	3,136	0,189	0,319	0,200	0 500
2,0	20,300	8,762	0.049	0.114	0.100	0,250
3,0	45,300	18,755	0,022	0,053	0,067	0,167
4,0	80,298	32,753	0,012	0,031	0.050	0,125
5.0	125,300	50,751	0,008	0,020	0,040	0,100
10,0	500,289	200,750	0,002	0,005	0,020	0,050

Schon aus diesen Zahlen erhellt die **außerordentliche Vielseitigkeit der Krümmungsverhältnisse** bei der logarithmischen Linie, besonders bei kleinen Werten von b, also bei schwachem Gefälle. Um dies noch anschaulicher zu machen, habe ich in Text-Abb. 3 die Krümmungen $\frac{1}{\varrho}$ auf logarithmischer Teilung bildlich dargestellt. Danach muß man wohl zugestehen, daß die logarithmische Linie bei kleinen Werten von x Ansprüche an die Beobachtungsergebnisse stellt, denen zu genügen keine Zufälligkeiten oder einfache andere Gesetze imstande wären. Wenn sich also aus den Beobachtungen der Nachweis ergibt, daß gerade **für kleine Werte**

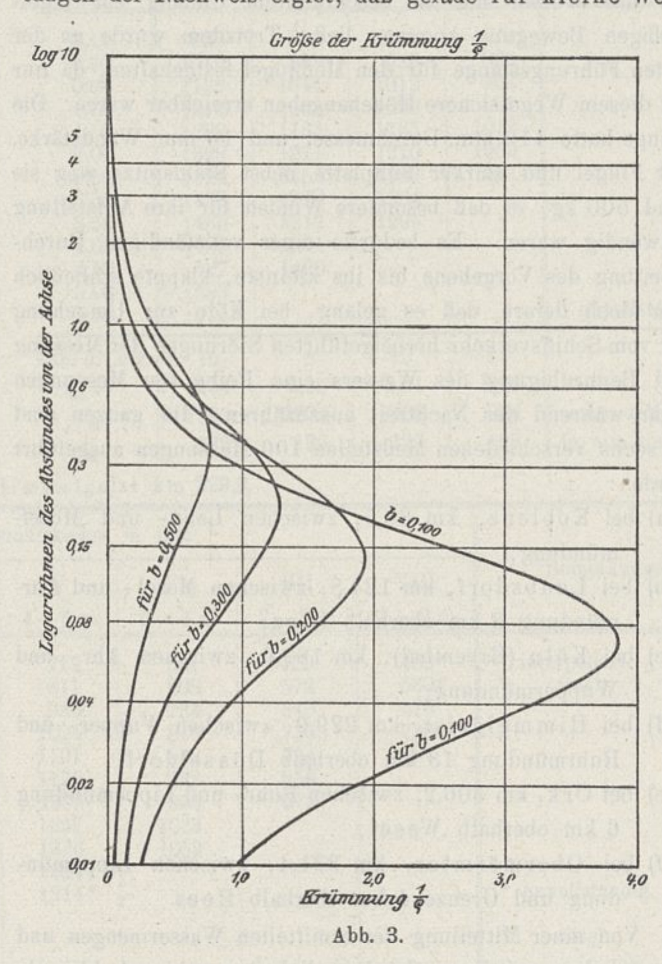


Abb. 3.

von x sich bei logarithmischer Auftragung eine gerade Linie herausstellt, so ist dies ein starker Beweisgrund für das logarithmische Grundgesetz.

D. Ergebnisse der Messungen am Rhein 1895 bis 1898.

Für die Untersuchung der Frage, in welchem Umfange eine weitere Vertiefung des Rheins ausführbar erscheine,

habe ich in den Jahren 1895 bis 1898 auf der preußischen Rheinstrecke von Koblenz an abwärts eine Reihe von Geschwindigkeitsmessungen ausgeführt, die nicht nur für die Ermittlung der Wassermengen, sondern auch für die hier zu erörternde Frage der logarithmischen Linie von Bedeutung sind. Bei geringen Wassertiefen kann die Form der Geschwindigkeitskurve naturgemäß nicht in dem Maße zum Ausdruck kommen, als bei großen Tiefen. Bölte war bei Bearbeitung der Warthemessungen gezwungen, Zwischenwerte zeichnerisch oder rechnerisch einzuschalten, weil ihm für die notwendigen Bedingungsgleichungen zur Bestimmung der Konstanten mehrfach die Beobachtungen fehlten. Dies erübrigt sich bei den Messungen am Rhein, wo die Tiefen bis über 10 m hinausgehen und dabei doch immer in Zwischenräumen von je 0,5 m Höhe, unter 1 m über Sohle in Höhe von 0,15, 0,30 und 0,60 m die Geschwindigkeiten gemessen wurden. Die Beobachtungen sind also zur Herleitung von Mittelwerten durchaus geeignet. Es bedarf dabei keiner Zwischenrechnungen, die Beobachtungen sind unmittelbar verwendbar.

Beträchtliche Schwierigkeiten mußten allerdings bei der Messung überwunden werden. Die bis zu 3 m hinaufgehenden Geschwindigkeiten stellten bei 10 m Wassertiefe außerordentliche Anforderungen an das Meßgerät und die ausführenden Beamten. Dazu kam der rege Schiffsverkehr auf dem Rhein, der das Wasser nur in beschränktem Umfang zur regelmäßigen Bewegung kommen ließ. Trotzdem wurde an der festen Führungsstange für den Meßflügel festgehalten, da nur auf diesem Wege sichere Höhenangaben erreichbar waren. Die Stange hatte 110 mm Durchmesser und 10 mm Wandstärke. Mit Flügel und starker Fußplatte nebst Stahlspitze wog sie rund 500 kg, so daß besondere Winden für ihre Aufstellung notwendig waren. Es bedurfte einer vollständigen Durcharbeitung des Vorgehens bis ins kleinste, klappte schließlich aber doch derart, daß es gelang, bei Köln zur Umgehung der vom Schiffsverkehr herbeigeführten Störungen der Messung und Beunruhigung des Wassers eine Reihe von Messungen sogar während der Nachtzeit auszuführen. Im ganzen sind an sechs verschiedenen Meßstellen 100 Messungen ausgeführt worden:

a) bei Koblenz, km 88,5, zwischen Lahn- und Moselmündung;
b) bei Leubsdorf, km 124,8, zwischen Mosel- und Ahrmündung 3 km oberhalb Linz;
c) bei Köln (Bayenthal), km 182,6, zwischen Ahr- und Wuppermündung;
d) bei Himmelgeist, km 229,0, zwischen Wupper- und Ruhrmündung 13 km oberhalb Düsseldorf;
e) bei Ork, km 306,2, zwischen Ruhr- und Lippemündung 6 km oberhalb Wesel;
f) bei Obermörmter, km 331,4, zwischen Lippemündung und Grenze 4 km oberhalb Rees.

Von einer Mitteilung der ermittelten Wassermengen und der einzelnen mittleren Geschwindigkeiten sehe ich hier ab, beschränke mich vielmehr auf die Geschwindigkeitsmessungen selbst und besonders auf die Form der Geschwindigkeitskurve, wie sie sich aus den Messungen am Rhein herleiten läßt.

Bekanntlich hat Lippke in seinen bereits oben erwähnten Untersuchungen über die Verteilung der Wassergeschwindigkeiten 1911 auf Grund der von mir im Handbuch der Ingenieurwissenschaften gegebenen Abbildungen den Versuch gemacht, auf S. 267 seiner Ausführungen der Geschwindigkeitskurve bei der Lotrechtengruppe IV zu Obermörmter zum Teil die Gestalt einer geraden Linie, zum Teil die Form einer Ellipse anzupassen. Auf S. 280 und 281 zieht er diese Abbildungen auch zu Konstantenermittlungen für die von ihm aufgestellten Geschwindigkeitsgleichungen heran. Wie ein Vergleich mit den nachstehend wiedergegebenen Beobachtungszahlen zeigt, stimmen die Annahmen Lippkes mit den Beobachtungen nur annähernd überein, an wichtigen Stellen ergeben sich recht erhebliche Unterschiede. Vor allen Dingen vermeidet Lippke eine zahlenmäßige Gegenüberstellung von Messungs- und Rechnungsergebnis, was für die Begründung der Annahme erst allein ein sicheres Urteil ermöglicht. Angestellte Proberechnungen lieferten erheblich größere Abweichungen als bei der logarithmischen Linie, so daß ich von einer eingehenden Widerlegung dieser Vorschläge absehen zu können glaube. Auf Grund der Messungen läßt sich meiner Ansicht nach auch für den Rhein nur die Tatsache feststellen, daß die Geschwindigkeitskurve im allgemeinen der logarithmischen Linie entspricht, und daß diese Beziehung um so schärfer zum Ausdruck gelangt, je größer die Zahl der Beobachtungen ist.

Die Zusammenstellungen a) bis f) S. 177/180 beschränken sich auf die für verschiedene Tiefen und Meßstellen aus den Einzelbeobachtungen hergeleiteten arithmetischen Mittelwerte. Die Einteilung in Gruppen ist für die einzelnen Meßstellen die gleiche wie früher. Von der Herleitung von Gesamtmittelwerten für den ganzen Rhein habe ich abgesehen, da ich jetzt gerade auf die örtlichen Verschiedenheiten Gewicht legen möchte.

Diese Mittelwerte sind auf Abb. 1 bis 4 Bl. 11 zeichnerisch dargestellt, wobei für die Auftragung der Höhen logarithmische Teilung gewählt ist. Die Geschwindigkeitskurven stellen sich daher im großen und ganzen als gerade Linien dar. Regelmäßig gekrümmte Formen, die bei einzelnen Gruppen sich geltend machen, z. B. bei Himmelgeist, rühren davon her, daß es anscheinend bei den Messungen nicht gelungen ist, den Nullpunkt der Höhenermittlungen mit der allgemeinen Lage der Flußsohle in Einklang zu bringen.

Hierbei spielt ein eigenartiger Umstand eine Rolle. Die Messungen im Jahre 1895 wurden nämlich mit den von der Elbstrombauverwaltung geliehenen Gerätschaften ausgeführt. Erst im Jahre 1896 konnten die starken, neugebauten Hilfsmittel der Rheinstrombauverwaltung verwendet werden. Bei letzteren war die Fußplatte und besonders die Spitze sehr viel stärker und schwerer ausgebildet wie bei der Flügelstange der Elbstrombauverwaltung. Nun ist es eigentümlich, daß die Messungen von 1896 im allgemeinen auf einen höheren Wert von c führen bei Berechnung der logarithmischen Linie als die Messungen von 1895. Bei der festen Sohle, die sich am Rhein an vielen Stellen vorfand, drang die Spitze nicht in den Boden ein, trotz des schweren Gewichts der Flügelstange. Der Erfolg war natürlich, daß sich bei der Berechnung ein stärkerer positiver Wert für c ergab. Dies tritt besonders für Leubsdorf hervor, wo die Gruppen II, III und V im wesentlichen im Jahre 1896, die Gruppen IV, VI, VII im Jahre 1895 gemessen wurden. Bei Himmelgeist wurden Gruppe I bis III und teilweise auch IV 1896 gemessen, die übrigen Gruppen größtenteils 1895. Ich möchte hierin eine

a) Meßstelle bei Koblenz km 88,5.

Höhe x über Sohle	Gemittelte Geschwindigkeiten in mm					Bemerkungen
	Gr. I	Gr. II	Gr. III	Gr. IV	Gr. V	
m	5–6 m	4–5 m	3–4 m	2–3 m	1–2 m	
0,15	725	583	569	368*	457*	* interpoliert [1])
0,30	818	684	623	436*	578*	* desgl. [1])
0,60	939	801	730	533	684	
1,00	1026	888	814	633	764	
1,50	1136	971	889	682	801	
2,00	1150	1024	948	735		
2,50	1191	1071	988	754		
3,00	1219	1113	1013			
3,50	1257	1148	1019			* unsicher, weil nicht für alle Lotrechten Messungen möglich waren.
4,00	1297	1167				
4,50	1328	(1164)*				
5,00	1342					
Zahl d. Lotr.	6	16	10	11	7	
Mittl. Tiefe	5,54	4,60	3,84	2,80	1,67	in m.
v_m	1172	1004	887	633	684	n. d. Flächenermittl.
J_m	115	116	117	118	117	in mm/km.

[1]) aus Beobachtungen in Höhe von 0,10 und 0,20 ü. S.

b) Meßstelle bei Leubsdorf km 124.8.

Höhe x über Sohle	Gemittelte Geschwindigkeiten in mm						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
m	6–7 m	5–6 m	4–5 m	3–4 m	2–3 m	1–2 m	0–1 m
0.15	943	1074	913	766	636	420	322
0.30	1142	1175	1000	881	779	488	413
0,60	1284	1301	1121	1028	865	625	500
1,00	1384	1408	1220	1139	1012	669	587 [1])
1,50	1512	1505	1319	1222	1107	716	
2,00	1576	1590	1376	1284	1161	758 [2])	
2,50	1639	1655	1424	1330	1192		
3,00	1649	1703	1476	1366	1167 [3])		
3,50	1720	1745	1470	1364			
4,00	1775	1789	1486	(1383) [1])			
4.50	1794	1829	1543 [3])				
5,00	1817	1825					
5,50	1851	1834 [3])					
6,00	1852						
Zahl d. Lotr.	4	54	23	28	17	7	8
Mittl. Tiefe [4])	6,09	5,74	4,47	3,74	2,85	1,79	0,68
v_m [5])	1614	1621	1337	1205	1024	620	437
J_m [6])	139	144	171	196	174	178	225

[1]) unsicher. [2]) unvollständig. [3]) nicht überall meßbar.
[4]) in m. [5]) aus der Messung berechnet. [6]) in mm/km.

c) Meßstelle bei Köln (Bayenthal) km 182,6.

Höhe x über Sohle	Gemittelte Geschwindigkeiten in mm					Bemerkuugen
	I	II	III	IV	V	
m	5–6 m	4–5 m	3–4 m	2–3 m	1–2 m	
0,15	1072	1096	977	728	717	
0.30	1244	1256	1099	873	839	
0,60	1384	1376	1226	1017	963	
1,00	1506	1478	1329	1125	1054	
1,50	1598	1562	1399	1184	1114	
2,00	1689	1632	1474	1248		
2,50	1757	1691	1519	1294		
3.00	1824	1747	1559	1375*		* unvollständig.
3,50	1889	1786	1613			
4,00	1944	1824	1593*			* desgl.
4,50	1985	1853				
5,00	1984	1902*				* desgl.
5,50	2003*					* desgl.
Zahl d. Lotr.	51	47	22	19	19	
Mittl. Tiefe	5,35	4,55	3,77	2,75	1,79	in m.
v_m	1719	1611	1403	1117	983	mm n. d. Mess. ber.
J_m	214	223	226	315	360	in mm/km.

e) Meßstelle bei Ork km 306,2.

Höhe x über Sohle	Gemittelte Geschwindigkeiten in mm				Bemerkungen
	I	II	III	IV	
m	5–6 m	4–5 m	3–4 m	2–3 m	
0,15	868	820	841	728	
0.30	1019	968	939	822	
0,60	1133	1044	1012	902	
1,00	1210	1091	1090	957	
1,50	1282	1163	1165	1012	
2,00	1328	1211	1210	1059	
2,50	1394	1254	1242	1091	
3,00	1432	1278	1264		
3.50	1465	1317	1295		
4,00	1483	1391			
4,50	1527	1420			
5,00	1583				
5,50.	1574*				* unvollständig.
Zahl d. Lotr.	15	8	12	12	
$t_m =$	5,54	4,55	3,81	2,86	in m.
v_m	1365	1203	1158	976	mm n. d. Mess. ber.
J_m	139	139	127	128	in mm/km.

d) Meßstelle bei Himmelgeist km 229,0.

Höhe x über Sohle	Gemittelte Geschwindigkeiten in mm								Bemerkungen
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
m	8–9 m	7–8 m	6–7 m	5–6 m	4–5 m	3–4 m	2–3 m	1–2 m	
0,15	982	984	969	896	719	551	489	462*	* interpoliert.
0,30	1073	1143	1132	1023	811	608	572	560*	* desgl.
0,60	1180	1265	1252	1125	936	733	640	679	
1,00	1298	1353	1324	1205	1024	818	736	738	
1,50	1427	1484	1425	1312	1101	868	794	824	
2,00	1500	1559	1522	1378	1170	932	856		
2.50	1570	1611	1585	1430	1208	985	872		
3.00	1623	1660	1626	1483	1257	1023			
3,50	1656	1737	1663	1515	1273	1052			
4,00	1689	1762	1717	1548	1284				
4,50	1699	1793	1747	1537	1314*				* unvollständig.
5.00	1714	1815	1772	1581					
5 50	1767	1853	1795	1615*					* desgl.
6,00	1838	1898	1823						
6.50	1874	1920	1841*						* desgl.
7,00	1873	1931							
7,50	1932	1947*							* desgl.
8,00	1915								
Zahl der Lotrechten	2	10	17	16	28	7	7	5	
Mittlere Tiefe	8,15	7,51	6,56	5,45	4,58	3,80	2,73	1,72	in m.
v_m	1632	1668	1586	1389	1136	885	745	688	in mm nach d. Mess. ber.
J_m	200	182	191	192	152	136	168	169	in mm/km.

f) Meßstelle bei Obermörmter km 331,4.

Höhe x über Sohle	Gemittelte Geschwindigkeiten in mm										Bemerkungen
	I	II	III^a	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
m	10–11 m	9–10 m	8–9 m	7–8 m	6–7 m	5–6 m	4–5 m	3–4 m	2–3 m	1–2 m	
0,15	1084	887	868	646	580	591	591	529	342	407 *	* bei 0,20 über Sohle.
0,30	1310	1115	1136	830	719	676	679	603	399	471 *	* bei 0,40 über Sohle.
0,60	1526	1294	1242	983	815	765	747	688	465	500	
1,00	1614	1413	1317	1081	878	829	794	707	530	507	
1,50	1707	1522	1396	1139	969	892	836	766	572*	563	
2,00	1802	1612	.	1209	1026	935	878	814	569		
2,50	1851	1633	1552	1261	1069	969	907	849	599		
3,00	1902	1703	.	1309	1100	990	931	865	583 *		* unvollständig.
3,50	1945	1743	1625	1340	1122	1011	937	863			
4,00	1975	1768	.	1357	1141	1030	950				
4,50	2002	1817	1709	1375	1160	1053	948 *				* desgl.
5,00	2019	1854	.	1408	1206	1053					
5,50	2022	1876	1815	1431	1222	1069 *					* desgl.
6,00	2068	1911	.	1455	1248						
6,50	2124	1910	1845	1531	1240 *						* desgl.
7,00	2115	1931	.	1555							
7,50	2136	1938	1872	1570 *							* desgl.
8,00	2123	1966	.								
8,50	2165	1961	1790 *								* desgl.
9,00	2177	1920									
9,50	2118										
10,00	2063										
Zahl der Lotrechten	6	14	7	18	29	52	41	9	10	6	
Mittlere Tiefe	10,23	9,52	8,60	7,63	6,51	5,49	4,50	3,72	2,89	1,89	in m.
v_m	1942	1746	1644	1293	1061	938	860	757	560	506	in mm nach d. Mess. ber.
J_m	154	122	111	104	72	62	66	53	49	66	in mm/km.

Bestätigung meiner Annahme erblicken, daß der Wert c lediglich als ein unvermeidlicher Messungsfehler zu betrachten ist. Man tut daher gut, die Spitze an der Flügelstange ganz fortzulassen. Neuere Messungen ohne Fußspitze führten an der Aller tatsächlich dazu, daß der Wert für c gleich Null wurde.

Ich bin ferner nicht der Ansicht, daß bei der Verteilung der Geschwindigkeiten im Querschnitt eines Flusses ein blindes Spiel von Zufälligkeiten obwaltet, sondern daß die Verteilung der Geschwindigkeiten einem bestimmten Grundgesetze entspricht. Wenn man den Verlauf der einzelnen Linien auf Abb. 4 Bl. 11 verfolgt und beachtet, wie sich überall, z. B. bei Obermörmter noch bei 10 m Wassertiefe, die Ergebnisse bei logarithmischer Höhenbemessung der geraden Linie anpassen, so kann man nach obigen Ausführungen nicht zweifelhaft sein, daß das allgemeine Grundgesetz logarithmischer Natur ist.

Ich habe auch die Konstanten b und c der Gleichung $a + b \log(x + c) = y$ nach den auf S. 168 angeführten Formeln für die verschiedenen Gruppen berechnet. Die Werte für a habe ich aber für $(x + c) = 1$ nur aus den Beobachtungen hergeleitet (also ohne Fehlerausgleich) und dabei die folgenden Gleichungen erhalten:

Mittelwerte der Messungen am Rhein.

a) Koblenz . . . . Gruppe I: $y = 1{,}001 + 0{,}4806 \cdot \log(x + 0{,}116)$
„ II: $y = 0{,}861 + 0{,}4965 \cdot \log(x + 0{,}125)$
„ III: $y = 0{,}787 + 0{,}4523 \cdot \log(x + 0{,}129)$
„ IV: $y = 0{,}603 + 0{,}3463 \cdot \log(x + 0{,}121)$
„ V: $y = 0{,}772 + 0{,}2951 \cdot \log(x - 0{,}044)$.

b) Leubsdorf . . . Gruppe I: $y = 1{,}371 + 0{,}6223 \cdot \log(x + 0{,}050)$
„ II: $y = 1{,}335 + 0{,}6851 \cdot \log(x + 0{,}272)$
„ III: $y = 1{,}162 + 0{,}5986 \cdot \log(x + 0{,}232)$
„ IV: $y = 1{,}123 + 0{,}5143 \cdot \log(x + 0{,}058)$
„ V: $y = 0{,}970 + 0{,}5737 \cdot \log(x + 0{,}133)$
„ VI: $y = 0{,}668 + 0{,}3020 \cdot \log(x + 0{,}008)$
„ VII: $y = 0{,}570 + 0{,}3715 \cdot \log(x + 0{,}081)$.

c) Bayenthal . . . Gruppe I: $y = 1{,}454 + 0{,}7574 \cdot \log(x + 0{,}173)$
„ II: $y = 1{,}450 + 0{,}6095 \cdot \log(x + 0{,}114)$
„ III: $y = 1{,}309 + 0{,}5151 \cdot \log(x + 0{,}078)$
„ IV: $y = 1{,}120 + 0{,}4439 \cdot \log(x - 0{,}019)$
„ V: $y = 1{,}049 + 0{,}4198 \cdot \log(x + 0{,}023)$.

d) Himmelgeist . Gruppe I: $y = 1{,}207 + 0{,}7444 \cdot \log(x + 0{,}314)$
„ II: $y = 1{,}307 + 0{,}7270 \cdot \log(x + 0{,}209)$
„ III: $y = 1{,}276 + 0{,}7238 \cdot \log(x + 0{,}267)$
„ IV: $y = 1{,}163 + 0{,}5905 \cdot \log(x + 0{,}210)$
„ V: $y = 1{,}004 + 0{,}4584 \cdot \log(x + 0{,}089)$
„ VI: $y = 0{,}778 + 0{,}4843 \cdot \log(x + 0{,}188)$
„ VII: $y = 0{,}700 + 0{,}5569 \cdot \log(x + 0{,}148)$
„ VIII: $y = 0{,}730 + 0{,}4120 \cdot \log(x + 0{,}056)$.

e) Ork . . . . . . Gruppe I: $y = 1{,}195 + 0{,}5040 \cdot \log(x + 0{,}075)$
„ II: $y = 1{,}084 + 0{,}4072 \cdot \log(x + 0{,}065)$
„ III: $y = 1{,}063 + 0{,}4147 \cdot \log(x + 0{,}143)$
„ IV: $y = 0{,}950 + 0{,}3257 \cdot \log(x + 0{,}046)$.

f) Obermörmter . Gruppe I: $y = 1{,}618 + 0{,}5908 \cdot \log(x - 0{,}026)$
„ II: $y = 1{,}415 + 0{,}6152 \cdot \log(x - 0{,}009)$
„ III^a: $y = 1{,}292 + 0{,}7030 \cdot \log(x + 0{,}135)$
„ III: $y = 1{,}065 + 0{,}6003 \cdot \log(x + 0{,}066)$
„ IV: $y = 0{,}855 + 0{,}5060 \cdot \log(x + 0{,}144)$
„ V: $y = 0{,}822 + 0{,}3310 \cdot \log(x + 0{,}053)$
„ VI: $y = 0{,}792 + 0{,}2593 \cdot \log(x + 0{,}016)$
„ VII: $y = 0{,}705 + 0{,}2835 \cdot \log(x + 0{,}049)$
„ VIII: $y = 0{,}526 + 0{,}2218 \cdot \log(x + 0{,}026)$
„ IX: $y = 0{,}515 + 0{,}1492 \cdot \log(x - 0{,}071)$.

An der Meßstelle in Obermörmter, wo nach obigen Tabellen das Gefälle und die Tiefe am verschiedenartigsten waren, schwankte auch der Wert b in den weitesten Grenzen, von 0,1492 bis 0,7030. Das gibt für die Größe bM Schwankungen zwischen 0,065 und 0,305, während J_m zwischen 0,049 und 0,154 liegt. Es scheint daher, daß die für die Elbe im Jahre 1897 abgeleitete Gleichung $bM = 1000 J$ für den Rhein einer Ergänzung bedarf. Allerdings bezog sich diese Gleichung auch für die Elbe nur auf die Mittelwerte des ganzen Querschnitts, nicht wie hier auf die einzelnen Lotrechten selbst.

Von Bedeutung ist es, die Veränderung von b bei verschiedenen Wasserständen an ein und derselben Lotrechten zu verfolgen. Mit wachsender Tiefe nehmen die inneren Bewegungen zu. Als Beispiel wähle ich hierfür die Lotrechte 4 bei Obermörmter, d. h. diejenige Lotrechte, die bei der größten Wassertiefe, bis zu 10,5 m, gemessen ist. In Abb. 1 Bl. 12 sind die Beobachtungsergebnisse für sechs verschiedene Tiefen, von 5,15 bis 10,37 m nach logarithmischer Teilung aufgetragen. Auch hier sehen wir, wie die einzelnen Punkte einer geraden Linie zustreben und b mit wachsender Tiefe zunimmt. Gewiß sind Abweichungen von der Geraden vorhanden, und zwar nicht nur solche, die auf ungenauer Messung beruhen, sondern auch Schwankungen in den Geschwindigkeiten selbst. Daß ein stetes Pulsieren des Wassers stattfindet, ist bekannt und von Harlacher für die Elbe tatsächlich nachgewiesen worden. Nicht immer genügt die Beobachtungsdauer von 200 Sekunden für die Einzelfeststellungen. Momentaufnahmen oder Integrationsverfahren würden für diese Zwecke ganz unverwendbar sein. Auf die Abweichungen, die sich bei 9,37 m Wassertiefe zeigen, wird weiterhin noch näher einzugehen sein. Hier genügt die Feststellung, daß auch bei den Messungen am Rhein die logarithmische Linie als Grundgesetz für die Abnahme der Wassergeschwindigkeiten vom Wasserspiegel bis zur Sohle zutrifft, und daß die Form der logarithmischen Linie um so schärfer zum Ausdruck gelangt, je größer die Zahl der zugrunde liegenden Beobachtungen ist. Je zahlreicher die Lotrechten waren, aus denen obige 39 Gruppen sich zusammensetzten, desto regelmäßiger war der Verlauf der Linien.

Bei Koblenz und Leubsdorf gehen mehrere Gruppen bis zu 0,10 m über Sohle. Auch hier bleibt bei logarithmischer Auftragung die gerade Linie in Kraft, so daß kein Anhaltspunkt dafür vorliegt, daß in der Nähe der Sohle das allgemeine Grundgesetz eine Änderung erleide. Den besten Beweis in dieser Hinsicht liefern die Messungen, die ich bereits 1897 in der Zeitschr. f. Bauwesen S. 604 bis 606 mitteilen konnte. Diese Messungen waren bei Magdeburg mit einem ganz kleinen Flügel von nur 5 cm Durchmesser, der in zwei Stahlspitzen lief, ausgeführt und reichten bis 0,03 m über der Grundplatte. Bei logarithmischer Auftragung liefern diese Beobachtungen, wie in Abb. 2 Bl. 12 dargestellt ist — von kleinen Beobachtungsungenauigkeiten abgesehen —, tadellose gerade Linien bis zur Höhe der größten Geschwindigkeit. In der Nähe der Sohle ist kein Anzeichen, daß etwa unter 0,10 m Abstand von der Sohle sich die Verhältnisse änderten.

Ja — aber die Geschiebeführung! Bei sich steigernder Wassermenge, sagt Lippke a. a. O. S. 262, muß die kinetische Energie des Wassers zunehmen und sich auf die Wasserschichten an der Sohle ausdehnen. Gleichgültig ob Reibung oder Stoßkraft das Geschiebe in Bewegung setzt, es ist eine Arbeit nötig, die in der Größe der Geschwindigkeiten zum Ausdruck kommen muß. Diese Erwägungen sind zweifellos richtig, und es ist der Hauptzweck dieser Zeilen, dem Wege nachzuforschen, den die Natur dabei in Wirklichkeit einschlägt. Dabei muß man von Mittelwerten absehen und sich ins Studium der einzelnen Lotrechten vertiefen.

Zum Schlusse möchte ich noch kurz bemerken, daß die Abweichungen, die sich bei den Elbe-, Warthe- und Rheinmessungen im Wasserspiegel selbst und in dessen unmittelbarer Nähe ergeben, offenbar durchweg auf eine Beeinflussung der Wassergeschwindigkeiten durch die Meßkähne zurückzuführen sind. Für die Annahme einer natürlichen Verzögerung der Geschwindigkeiten an der Oberfläche des fließenden Gewässers bietet die Beobachtung keinen Anhalt.

E. Herleitung von Grenzgleichungen für die Bewegung des Wassers.

Die Gleichung $y = a + b \cdot \log(x + c)$, die den Betrachtungen bisher zugrunde gelegt wurde, weil sie für die Anwendung einer planmäßigen Ausgleichrechnung am bequemsten war, bringt die wirkenden Kräfte und Widerstände nicht unmittelbar zum Ausdruck. Der Ausgangspunkt der treibenden Kräfte ist der Wasserspiegel, der Sitz der Widerstände ist die Sohle. Der Wert a, der in obiger Gleichung der Ausgang, der Stamm war, der sich für $x + c > 1{,}0$ vergrößerte, für $x + c < 1{,}0$ abnahm, war die Geschwindigkeit im Abstande 1 von der Sohle. Er blieb bei den bisherigen Erörterungen an das metrische Maß gebunden. Dabei war er von derselben Beschaffenheit wie y, schloß also dieselbe Entwicklung in sich, wie die Geschwindigkeit. Es war gewissermaßen die maßgebliche Stammgeschwindigkeit der Lotrechten im Abstande 1.

Beim $\log(x + c)$ war der Gedanke vielleicht für manchen störend, daß man von einer Streckenlänge, die $(x + c)$ zweifellos darstellt, schwer einen Logarithmus bilden kann. Vielleicht dankt die Formel dieser Tatsache das Befremden, mit dem sie mehrfach aufgenommen zu sein scheint.

Beziehen wir die Gleichung auf den Wasserspiegel als die obere Grenze der Bewegung, indem wir den Wert einführen:

$$v_0 = a + b \cdot \log T,$$

also

$$a = v_0 - b \cdot \log T,$$

so erhalten wir

$$y = v_0 - b \cdot \log \frac{T}{x} \quad \ldots \quad (2)$$

Der Wert $\frac{T}{x}$ ist für alle positiven Werte von x größer als 1, der Logarithmus also immer positiv. Der Ausdruck $\frac{T}{x}$ ist dimensionslos, da T und x Längenmaße sind. Die Bildung des Logarithmus von $\frac{T}{x}$ ist also eine rein rechnerische Maßnahme und vom Standpunkt räumlicher Gleichartigkeit aller Glieder einer Gleichung nicht anfechtbar.

Der Ausdruck $b \cdot \log \frac{T}{x}$ stellt die Abnahme der Geschwindigkeiten von dem Wasserspiegel bis zur Sohle in reinster Form dar. Neben dem Verhältnis der Tiefen $\frac{T}{x}$ kommt darin nur b vor, das nach obigen Ausführungen und früheren Mitteilungen, wenn nicht ganz, so doch sehr wesentlich von der Größe des Gefälles abhängt. Für $x = T$ wird der Ausdruck $y = v_0 - b \cdot \log \frac{T}{T} = v_0$. Mit dem Abstand von der Oberfläche des Wassers nehmen die Werte für $b \cdot \log \frac{T}{x}$ allmählich zu, bis sie bei einem bestimmten Werte von x die Größe von v_0 erreichen. Bezeichnen wir diesen Wert für x wie in den früheren Abhandlungen mit δ, so würde für $x = \delta$ also

$$v_0 = b \cdot \log \frac{T}{\delta}.$$

Die Geschwindigkeit y wird für den Wert δ gleich Null. Mit dem Abstande vom Wasserspiegel wächst der Verlust an Geschwindigkeit, und es verringert sich die treibende Kraft, bis sie für $x = \delta$ ganz aufgezehrt ist. Ein weiteres Anwachsen dieses Verlustes über δ hinaus ist ausgeschlossen, da von der Energie des Wasserantriebes nichts mehr übrig ist. Von einer imaginären Wirkung bei $x < \delta$ kann also keine Rede sein, ebensowenig von unendlich negativen Werten von y, wie sie sich aus der allgemeinen Gleichung $y = a + b \cdot \log(x + c)$ für den Wert $x = -c$ ergeben würden. Die Abnahme der Geschwindigkeit an der Sohle ist so stark, daß auch die größte Energie vernichtet werden würde, gleichviel wie groß v_0 sein mag. Wenn diese Kraft vernichtet ist, ist die Sache erledigt. Die auf Verringerung der Geschwindigkeit gerichtete Wirkung findet keine treibende Kraft mehr vor, und damit verschwindet die lediglich als Reaktion aufzufassende Wirkung. Die treibenden und die widerstrebenden Elemente kommen in der Formel $y = v_0 - b \log \frac{T}{x}$ in getrennter Form zur Anschauung, wie aus Text-Abb. 4 hervorgeht, wo der wagerecht schraffierte Teil den Geschwindigkeitsverlust, der nach Maßgabe der Gleichung $v_m = v_0 - bM$ seiner Fläche nach mit $T \cdot b \cdot M$ ausdrückbar ist, darstellt. Die schraffierte Fläche ist also einem Rechteck von der Höhe T und der Breite bM, wo M der Modul des natürlichen Logarithmensystems ist, gleich. Man kann bM daher auch als den durchschnittlichen Geschwindigkeitsverlust bezeichnen. Er ist der Maßstab für die inneren Widerstände, für die Turbulenz des Wassers und leitet sich in seinen Grundursachen aus dem zwischen treibender Kraft und Sohlenwiderstand entstehenden Kampfe her. Seine Intensität ist überall in der Lotrechten dieselbe, seine Wirkung steigert sich mit der Annäherung an die Sohle.

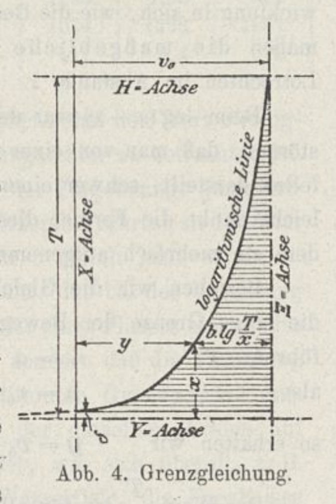


Abb. 4. Grenzgleichung.

Führen wir eine Achsenverschiebung durch, indem wir das in Abb. 4 angegebene neue Achsensystem einführen, so wird für $\xi = T - x$ und $\eta = v_0 - y$

$$y = v_0 - b \cdot \log \frac{T}{x}$$

oder
$$v_0 - \eta = v_0 - b \cdot \log \frac{T}{T - \xi}$$

$$\eta = b \cdot \log \frac{T}{T - \xi} \quad . \; . \; . \; . \quad (3)$$

oder
$$\eta = -b \cdot \log \left(1 - \frac{\xi}{T}\right)$$

oder:
$$\eta = M \cdot b \cdot \left[\frac{\xi}{T} + \frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{T}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{\xi}{T}\right)^3 + \ldots\right] . \quad (3a)$$

In dieser Form ist es für kleine Werte von ξ, also in der Nähe des Wasserspiegels verwendbar, besonders wenn man die höheren Potenzen von $\frac{\xi}{T}$ vernachlässigen und sich auf $\eta = M \cdot b \cdot \frac{\xi}{T}$ beschränken kann.

Genauer wird das Ergebnis, wenn man statt des $\log\left(1 - \frac{\xi}{T}\right)$ auf $\log \frac{1+x}{1-x}$ übergeht und $\frac{1+x}{1-x} = 1 - \frac{\xi}{T}$ setzt. Es wird dann

$$x = \frac{\xi}{2T - \xi} \text{ und } \eta = 2M \cdot b \left[\frac{\xi}{2T - \xi} + \frac{1}{3}\left(\frac{\xi}{2T - \xi}\right)^3 + \ldots\right]$$

Da diese Reihe viel schneller abnimmt, als die obige, so kommt man zu der konstruktiv leicht darstellbaren Form:

$$\eta = 2bM \cdot \frac{\xi}{2T - \xi} \quad . \; . \; . \; . \quad (3b)$$

und man erhält bM aus der Formel:

$$bM = \eta \cdot \left(\frac{T}{\xi} - \frac{1}{2}\right) \quad . \; . \; . \; . \quad (3c)$$

Bis zur halben Wassertiefe reicht diese Hyperbelfunktion vollkommen aus, so daß man aus zwei Geschwindigkeitsbeobachtungen an der Oberfläche und in halber Tiefe ohne weiteres den Wert bM gewinnen kann.

Für die Darstellung der an der Sohle sich abspielenden Vorgänge ist die Hyperbel jedoch ungeeignet. Hier ist aber die andere Grenzgleichung der logarithmischen Linie bemerkenswert, wenn wir für a den Wert aus der Grundgleichung $0 = a + b \cdot \log \delta$ einführen. Es ergibt sich dann $y = b \cdot \log x - b \log \delta$ oder

$$\boldsymbol{y = b \cdot \log \frac{x}{\delta}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

oder beim Festhalten am Werte c für Untersuchung von Messungen:

$$y = b \cdot \log \frac{x + c}{\delta} .$$

Auch hier ist jetzt die räumliche Gleichartigkeit gewahrt, da x oder $x + c$ und δ einfache Längenmaße darstellen, der Bruch $\frac{x}{\delta}$ also nur einen Zahlenausdruck bildet, von dem ein Logarithmus denkbar ist.

Die Größe δ bezeichnet den Abstand von der hydraulischen Flußsohle, wo die Bewegung beginnt. Sie stellt die Stärke der ruhenden oder vielmehr der am Abflußvorgang unbeteiligten Wasserschicht dar. Ihre Größe ist im allgemeinen sehr gering. Trotzdem wird sie durch die Stellung, die sie in der Formel einnimmt, zum bestimmenden Faktor für die Größe des von der Sohle ausgehenden Widerstandes. Sie bildet den Maßstab, an dem der Wert x gemessen wird. Je größer δ wird, desto weiter erstreckt sich die Wirkung des Sohlenwiderstandes in das Innere der Wassermenge, desto größer ist der absolute Wert desselben. Bei der Bedeutung, die der Wert δ besitzt, habe ich ihn für eine Reihe von Messungen hergeleitet. Er ergibt sich aus der Gleichung $0 = a + b \cdot \log \delta$ zu

$$\log \delta = -\frac{a}{b} \text{ und } \delta = e^{-\frac{a}{bM}} = 10^{-\frac{a}{b}} \quad . \quad (5)$$

Da $\delta = x_0 + c$ ist, so wird der Wert x_0 für $y = 0$ zu $\delta - c$. Auch diese Größe von x_0 ist ermittelt worden, ebenso der Winkel φ, unter dem die logarithmische Linie für $y = 0$ sich über die Wagerechte erhebt; denn die logarithmische Linie tangiert nicht in dem Punkte, wo $y = 0$ wird, die Sohle, wie dies von Lippke für seine elliptische Form und von anderen bei Parabeln usw. als zulässige Bedingung hingestellt ist. Der Wert $\operatorname{tang} \varphi = \frac{dx}{dy} = \frac{\delta}{bM}$ ist zwar meistens sehr gering, aber er behält immer einen endlichen, bestimmten Wert.

Fluß bzw. Meßstelle	Gruppe	t_m m	J_m mm/km	v_m mm	a m	b m	δ m	$x = \delta - c$ m	φ
An der Elbe . . .	I	7,30	.	1124	0.9407	0,3760	0.00315	—	1° 6′ 19″
	II	6.50	.	1360	1.1803	0,5015	0.00443	— 0,0256	1° 9′ 54″
	III	5,50	.	1160	1 0140	0,4644	0,00654	— 0.1155	1° 51′ 26″
	IV	4,50	.	1086	1,0021	0,4262	0,00445	— 0.0455	1° 2′ 18″
	V	3,50	.	940	0.9227	0,3496	0.00229	— 0,0046	0° 51′ 58″
	VI	2,50	.	554	0,5882	0,2637	0.00604	— 0,0017	3° 1′ 8″
						im Mittel:	**0,00448**	**— 0,0385**	**1° 34′ 10″**
An der Warthe . . .	I	1.00	.	580	0,6640	0,2038	0.00055	— 0,0067	0° 21′ 22″
	II	1,99	.	706	0,7352	0,3258	0.00554	— 0,0351	2° 14′ 32″
	III	2,98	.	905	0,8605	0,4271	0.00967	— 0,0857	2° 59′ 3″
	IV	4.01	.	963	0.8880	0,3989	0,00594	— 0,0245	1° 57′ 50″
	V	5,02	.	1010	0,8781	0,4438	0,01051	— 0.0632	3° 7′ 16″
						im Mittel:	**0,00644**	**— 0,0130**	**2° 8′ 1″**
Am Rhein bei Meßstelle:									
a) Koblenz . . .	I	5,54	115	1172	1.001	0.4806	0,0083	— 0,108	2° 16′ 18″
	II	4,60	116	1004	0.861	0,4965	0.0185	— 0 104	4° 54′ 13″
	III	3,84	117	887	0.787	0,4523	0.0182	— 0,111	5° 17′ 40″
	IV	2,80	118	633	0,603	0.3463	0.0165	— 0,104	6° 24′ 20″
	V	1,67	117	684	0,772	0,2951	0.0034	— 0.046	1° 4′ 22″
						im Mittel:	**0,0128**	**— 0,095**	**3° 59′ 23″**
b) Leubsdorf bei Linz . . .	I	6,09	139	1614	1,371	0,6223	0,0063	— 0,044	1° 20′ 8″
	II	5,74	144	1621	1,335	0,6851	0,0113	— 0,261	2° 10′ 30″
	III	4,47	171	1337	1,162	0,5986	0,0115	— 0.220	2° 31′ 58″
	IV	3,74	196	1205	1.123	0,5143	0.0065	— 0,051	1° 40′ 0″
	V	2,85	174	1024	0,970	0,5737	0.0204	— 0,113	4° 40′ 50″
	VI	1,79	178	620	0,668	0,3020	0.0061	— 0,002	2° 39′ 47″
	VII	0,68	225	437	0,570	0,3715	0.0293	— 0,052	10° 17′ 40″
						im Mittel:	**0,0131**	**— 0,106**	**3° 37′ 16″**
c) Bayenthal bei Köln . . .	I	5.35	214	1719	1,454	0,7574	0,0120	— 0.161	2° 5′ 22″
	II	4,55	223	1611	1,450	0.6095	0,0042	— 0.110	0° 54′ 33″
	III	3,77	226	1403	1,309	0.5151	0,0029	— 0,075	0° 44′ 34″
	IV	2,75	315	1117	1,120	0,4439	0,0030	— 0,022	0° 53′ 30″
	V	1,79	360	983	1,049	0,4198	0.0032	— 0.020	1° 0′ 20″
						im Mittel:	**0,0051**	**— 0,078**	**1° 7′ 40″**
d) Himmelgeist bei Düsseldorf .	I	8,15	200	1632	1.207	0,7444	0,0239	— 0,290	4° 13′ 41″
	II	7,51	182	1668	1,307	0.7270	0,0159	— 0.193	2° 52′ 58″
	III	6,56	191	1586	1.276	0.7258	0.0175	— 0.249	3° 10′ 39″
	IV	5.45	192	1389	1,163	0,5905	0,0107	— 0,199	2° 23′ 21″
	V	4,58	152	1136	1,004	0,4584	0,0065	— 0,082	1° 52′ 12″
	VI	3,80	136	885	0,778	0.4843	0,0247	— 0,163	6° 41′ 56″
	VII	2,73	168	745	0,700	0,5569	0,0553	— 0,093	12° 52′ 50″
	VIII	1,72	169	688	0,730	0,4120	0.0169	— 0.039	5° 23′ 45″
						im Mittel:	**0,0214**	**— 0,163**	**4° 56′ 25″**
e) Ork bei Wesel . .	I	5.54	139	1365	1.195	0.5040	0,0043	— 0,071	1° 7′ 32″
	II	4,55	139	1203	1.084	0,4072	0,0022	— 0,063	0° 42′ 46″
	III	3,81	127	1158	1.063	0.4147	0,0027	— 0,140	0° 51′ 32″
	IV	2,86	128	976	0,950	0,3257	0.0012	— 0 045	0° 29′ 10″
						im Mittel:	**0,0027**	**— 0,080**	**0° 47′ 45″**
f) Obermörmter bei Rees . . .	I	10,23	154	1942	1,618	0,5998	0,0018	— 0,028	0° 24′ 7″
	II	9,52	122	1746	1,415	0,6152	0.0050	— 0,014	1° 4′ 20″
	III[a]	8,60	111	1644	1,292	0,7030	0,0145	— 0,120	2° 43′ 8″
	III	7,63	104	1293	1.065	0,6003	0,0168	— 0,049	3° 41′ 13″
	IV	6,51	72	1061	0,855	0,5060	0,0204	— 0,124	5° 18′ 13″
	V	5,49	62	938	0,822	0,3310	0,0033	— 0,050	1° 18′ 54″
	VI	4,50	66	860	0,792	0,2593	0.0008	— 0,015	0° 24′ 25″
	VII	3,72	53	757	0,705	0,2835	0,0033	— 0,046	1° 32′ 7″
	VIII	2,89	49	560	0,526	0.2218	0,0043	— 0,032	2° 52′ 2″
	IX	1,89	66	506	0,515	0.1492	0.0004	— 0.071	0° 21′ 14″
						im Mittel:	**0,0071**	**— 0,054**	**1° 57′ 58″**

Für die Größe von δ scheint nicht das Gefälle, sondern der Sohlenwiderstand vorzugsweise maßgebend zu sein. Um eine Prüfung nach dieser Richtung zu ermöglichen, habe ich vorstehend für den Rhein die Größe des Gefälles und der mittleren Geschwindigkeiten, sowie die Wassertiefe, für die Elbe und Warthe wenigstens die mittlere Tiefe und Geschwindigkeit mit angegeben.

Der Wert δ schwankt demnach in seinen Größenverhältnissen, scheint aber im allgemeinen stromabwärts abzunehmen. In Koblenz und Leubsdorf ist er größer als in Ork und Obermörmter. Ich sehe hierin den Ausdruck der verschiedenen Rauhigkeit, so daß ich in δ unmittelbar den Rauhigkeitsbeiwert erblicken möchte. In dem Ausdruck $y = b \cdot \log \frac{x}{\delta}$ würde die Rauhigkeit also den Maßstab liefern für die Größe x. Je größer die Rauhigkeit und der Wert δ ist, desto geringer würden die Geschwindigkeiten ausfallen, was der Erfahrung entspricht. Die maßgebliche Stammgeschwindigkeit $a = b \log \delta$ würde bei höherem Wert von δ geringer werden als bei niedrigerem, da bei Brüchen, was δ immer ist, der Logarithmus mit wachsendem Bruchwert abnimmt. Der Wert a ergibt sich nach meinen bisherigen anderweiten Ermittlungen annähernd zu $a = \frac{1}{n} \sqrt{T \cdot J}$, worin n den Rauhigkeitswert von Ganguillet und Kutter darstellt und T die Wassertiefe ist.

Der Wert für $x_0 = \delta - c$, d. h. die Höhe, in welcher unter der Oberfläche der Fußplatte bei der Messung die Geschwindigkeit gleich Null angenommen werden muß, ist ebenfalls nicht groß. An der Elbe beträgt er im Mittel 3,85 cm, an der Warthe 4,30 cm, am Rhein 9,6 cm. Für die Elbe und den Rhein, wo ich die verwendeten Gerätschaften kenne, trage ich kein Bedenken, diese Maße ohne weiteres den Vorkehrungen der Meßwerkzeuge zuzuschreiben. Die Fußplatte mit der langen eisernen Spitze daran, die sich zur Feststellung der Flügelstange in die Flußsohle einbohren sollte, bietet eine unmittelbare Erklärung.

Die Werte von φ wachsen und fallen mit dem Werte δ, hängen also ebenfalls von der Rauhigkeit der Sohle ab. Im allgemeinen ist ihre Größe nur gering. Ihre Ergänzung zu 90 Grad würde die Winkelgeschwindigkeit der Wirbel (Curls) angeben, die man sich vielleicht an der Sohle denken könnte, wenn man die Wirbelbewegung zur Grundlage der Betrachtung wählen wollte.

Bei näherer Erwägung gelangt man also an der Sohle anscheinend zu kleinen Ursachen mit großer Wirkung. Die Uranfänge der Geschwindigkeitsentwicklung liegen an der Sohle und strahlen von hier auf die darüber hinfließenden Wassermassen aus. Während ein freier Wasserstrahl von außen her nur geringe Einwirkung erleidet, bildet die Tatsache einer festen Wandung für die Bewegung des Wassers eine Bedingung, die für die Verteilung der Geschwindigkeiten maßgebenden Einfluß ausübt. Von Bedeutung ist dabei die Frage, ob dieser Einfluß sich nur in beschränkter Ausdehnung geltend macht oder ob ein bestimmter Teil des Sohlenwiderstandes nur begrenzte Wirkung hat und ein anderer Teil nicht, ob sich diese Teile trennen lassen oder nicht. Diese Untersuchung kann man nicht mehr an Mittelwerten klarstellen, sondern man muß auf den Einzelfall zurückgehen.

(Schluß folgt.)

Die Berechnung von Schleusenböden nach der Elastizitätslehre.

Von A. Freund, Regierungsbaumeister.

(Schluß.)

B. Das zeichnerische Näherungsverfahren.

1. Entwicklung des Verfahrens.

Das Anwendungsbereich des im Abschnitt A behandelten rechnerischen Verfahrens erscheint zunächst auf diejenigen Bauwerke beschränkt, deren Querschnittsformen den dort getroffenen einfachen Annahmen entsprechen. Steht man nun vor der Aufgabe, einen nicht so einfach gestalteten Schleusen- oder Dockquerschnitt zu berechnen — wobei es natürlich nur auf Abweichungen in der Gestaltung der Sohle ankommt, während die Bauart der Wände fast stets von unerheblicher Bedeutung ist —, so wird man versucht sein, den vorliegenden Querschnitt durch einen ihm möglichst ähnlichen einfachen Kastenquerschnitt zu ersetzen und die Berechnung der Bodenpressungen und Momente für diesen durchzuführen. Dieses Verfahren ist ohne Frage in den meisten Fällen zu empfehlen und wird auch zum Ziele führen. Ein Mangel ist es aber, der ihm anhaftet, daß nämlich der begangene Fehler sich der Schätzung entzieht, und dieser Mangel kann unter Umständen von ausschlaggebender Bedeutung sein.

Im folgenden möge daher ein Näherungsverfahren neuer Art entwickelt werden, das nicht nur für beliebige Querschnittsformen und beliebige Belastungen gültig ist, sondern auch ein Mittel an die Hand gibt, sich über den Grad der erreichten Annäherungsgenauigkeit Aufschluß zu verschaffen. Es liegt fast in der Natur der Sache, daß eine brauchbare Lösung der gestellten Aufgabe nur auf zeichnerischem Wege möglich ist; es muß als Ziel zu erreichen gesucht werden, die Bodendruck- und die Momentenkurven als Seilecke darzustellen. — Der Grundgedanke des Annäherungsverfahrens sei an einem einfachen Beispiel erläutert.

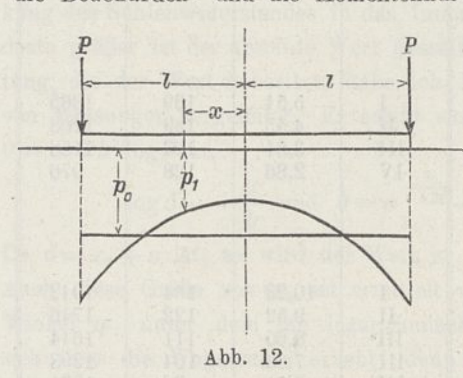


Abb. 12.

Man denke sich einen gewichtslosen Stab (Abb. 12) von der Länge $2\,l$ und der Breite b an den Enden durch zwei gleich große Kräfte P belastet und stelle sich vor, der Stab habe im ersten Augenblick das Bestreben, starr zu bleiben und sich demgemäß gleichmäßig in seine elastische Unterlage einzudrücken. Der Bodendruck ist dann $p_0 = \frac{P}{b\,l}$.

Diejenige Verteilung des Bodendrucks, die bei einem starren Stabe eintreten würde — also hier die gleichmäßige —, sei allgemein als „Anfangszustand“ bezeichnet. Ist der Bodendruck p_0, so beträgt die Einsenkung $y_0 = \frac{p_0}{E_0}$. Verfolgt man die Bewegung des Stabes, wie sie in Wirklichkeit vor sich geht, wenn die Belastung allmählich von Null zum vollen Wert P anwächst, so wird zwar, wenn von P erst ein unendlich kleiner Bruchteil dP wirkt, die Einsenkung dy_0 gleichmäßig sein; sofort aber setzt die Verbiegung des Stabes ein, und sobald die Bewegung beendet und das Gleichgewicht wieder hergestellt ist, hat sich bereits die endgültige Biegelinie gebildet, deren Eigenschaft darin zu suchen ist, daß die dieser Biegelinie nach dem Elastizitätsgesetz $p = y \cdot E_0$ entsprechende Gegenreaktion des Bodendrucks, als äußere Belastung im Vereine mit den primären Kräften auf den Stab wirkend gedacht, genau dieselbe Kurve als Biegelinie des Stabes erzeugen muß, deren Gesetz die Verteilung des Bodendruckes ergibt.

Bodendrucklinie und Einsenkungskurve stehen sich nach dieser Anschauung wie Ursache und Wirkung gegenüber. Es ist aber zu beachten, daß bei allen Formen, die der Stab vom Beginn der Verbiegung bis zur Beendigung dieses Vorgangs annimmt, kein Gleichgewicht, sondern Bewegung herrscht. Keine dieser Übergangskurven ist daher als Annäherung brauchbar.

Stellen wir uns nun aber vor, der Stab nehme erst durch einen gedachten künstlichen Eingriff seinen Anfangszustand ein und werde dann sich selbst überlassen. Dann muß er auch aus diesem Zustande heraus zu derselben Biegelinie gelangen, die er bei dem eben geschilderten tatsächlichen Vorgang am Ende erreicht. Und verfolgen wir einmal den Gedanken in der Weise, daß die Umwandlung der Biegelinie aus dem Anfangszustand in den Endzustand nicht ein stetiges Ineinanderfließen der Bewegungen sein soll, sondern es möge der Übergang in einer unendlich großen Anzahl von Stufen erfolgen. Bei jeder Stufe springe der Stab ruckweise von seiner vorhandenen Gestalt in die nächste um. Jede Gestalt kann nun so bestimmt werden, daß zwischen primären Kräften und Gegenkräften Gleichgewicht herrscht.

Es möge nunmehr die Biegelinie des Stabes, in die er bei der ersten Stufe der Bewegungen aus dem Anfangszustand übergeht, als erste Annäherung bezeichnet werden. Bei der zweiten Stufe springe der Stab aus der ersten Annäherung in die zweite hinüber und so fort.

Wenden wir uns jetzt der ersten Annäherung zu; zwei Fragen sind da vorerst zu beantworten, nämlich

1. in welcher Weise kommt die erste Annäherung zustande?
2. welche Beziehung besteht zwischen der ersten Annäherung und dem Endzustand?

Beide Fragen sind leicht zu beantworten.

Zu 1. Die erste Annäherung kommt dadurch zustande, daß der Stab durch seine primäre Belastung und eine dem Anfangszustand entsprechende Gegenbelastung p_0 auf Biegung beansprucht wird. Ist p_0 eine Kurve n. Grades, so ist die erste Annäherung eine Kurve $(n+4)$. Grades; in unserm Falle ist p_0 vom nullten Grade. Also ist die erste Annäherung vom vierten Grade. Die zweite Annäherung ist dann vom achten, die dritte vom zwölften Grade und so fort. Man ersieht bereits, daß es möglich sein muß, bereits mit der zweiten Annäherung dem Endzustande sehr nahe zu kommen. Es wird über den Annäherungsgrad weiter unten noch mehr gesagt werden.

Zu 2. Mit dem Endzustand muß die erste Annäherung die oben beschriebene Eigenschaft gemeinsam haben, daß der Bodendruck, mit den primären Kräften auf den Stab wirkend, eine Verbiegung des Stabes erzeugen muß, die mit der Bodendruckkurve wieder übereinstimmen muß. Nun ist es selbstverständlich, daß diese Forderung nur beim Endzustand genau erfüllt werden kann. Bei der ersten Annäherung kann sie nur angenähert erfüllt sein. Die Forderung lautet hier: Die aus der ersten Annäherung abgeleitete Biegelinie muß von der ersten Annäherung möglichst wenig abweichen. Damit ist das Gesetz für die Ermittlung der Annäherung gefunden. Wir sind auf eine ganz einfache Aufgabe aus der Lehre der Maxima und Minima geraten.

Die Ordinaten der Biegelinie, die der Anfangszustand p_0 im Vereine mit den Primärkräften hervorrufen würde, wenn die Biegelinie ganz zur Geltung käme, seien mit y_1 bezeichnet. Für die y_1-Kurve bzw. p_1-Kurve sei die Benennung: „Ableitung aus dem Anfangszustand“ eingeführt. Von den Differenzordinaten $y_1 - y_0$ darf nun aber nur der Bruchteil $\triangle_1 \cdot (y_1 - y_0)$ zur Entwicklung gelangen (Abb. 12), und es sind dann

13) . . . . $y_1' = y_0 + \triangle_1 (y_1 - y_0)$

die Ordinaten der ersten Annäherung der Einsenkungslinie, oder

13a) . . . . $p_1' = p_0 + \triangle_1 (p_1 - p_0)$

diejenigen der ersten Annäherung der Bodendrucklinie. Weiterhin seien y_2 bzw. p_2 die Ordinaten der „Ableitung“ aus der ersten Annäherung, d. h. also die Ordinaten derjenigen Biege- bzw. Bodendrucklinie, die man erhält, wenn die Belastung p_1' im Verein mit den Primärkräften auf den Stab wirkt.

Die Bedingung für die Ermittlung der gesuchten Größe $\triangle_1$ lautet jetzt, daß $\int_0^l (y_2 - y_1')^2 dx = \text{Min}$ werden muß.

Das Minimum ist erreicht, wenn

14) $\int_0^l \frac{\partial (y_2 - y_1')^2}{\partial \triangle_1} \cdot dx = 0$ oder wenn $\int_0^l \frac{\partial (y_2 - y_1')}{\partial \triangle_1} \cdot (y_2 - y_1') \cdot dx = 0$

wird.

2. Der Maßstab $\triangle_1$.

Die Größe $\triangle_1$ kann man mit gewisser Begriffsbeschränkung als den Maßstab der ersten Annäherung bezeichnen. Genau genommen ist er der Maßstab für die Differenzen $y_1 - y_0$. Leitet man aus der ersten Annäherung die zweite ab, so ist deren Maßstab $\triangle_2$ durch die Gleichung $y_2' = y_1' + \triangle_2 (y_2 - y_1')$ festgelegt, wobei y_2' die Ordinaten der zweiten Annäherung darstellen. Ebenso verhält es sich mit dem Maßstab $\triangle_3$ der dritten Annäherung und so fort.

Bei Anwendung des zeichnerischen Verfahrens zur Ermittlung der Biegelinien kann $\triangle_1$ durch Probieren gefunden werden, indem man versuchsweise beliebige Werte $\triangle_1$ einsetzt, jedesmal die zugehörigen Ordinaten y_1' und y_2 bestimmt und die von den Flächen der Kurven y_1' und y_2 gebildeten Differenzflächen berechnet. Trägt man die $\triangle_1$ als Abszissen und die Werte der Differenzflächen als Ordinaten auf, so liegt der richtige Maßstab $\triangle_1$ dort, wo die Kurve der Differenzflächen ihr Minimum zeigt. Dieses Verfahren wird bei dem weiter unten behandelten Beispiel zur Durchführung gelangen.

Man kann den Wert $\triangle_1$ für bestimmte Belastungsfälle aber auch rechnerisch ermitteln, indem man die oben mathematisch dargestellte Bedingung für das Minimum verwendet.

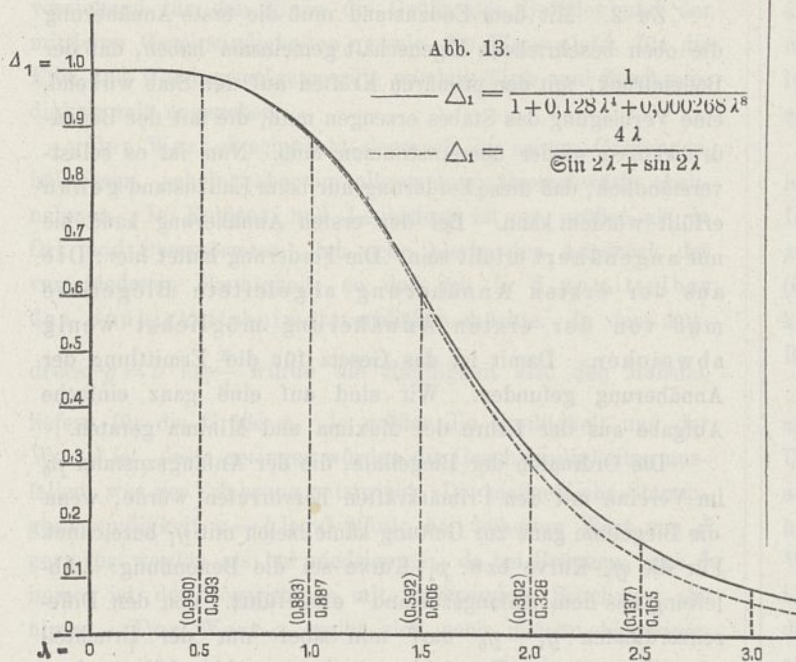


Abb. 13.

Am einfachsten gestaltet sich diese Berechnung für den einfachen prismatischen Stab, möglich ist sie auch für jeden anderen mathematisch zugänglichen Körper, also auch für den Steifrahmen. Obwohl es nicht der Zweck dieser Abhandlung ist, auf die Theorie des einfachen Stabes näher einzugehen, so sei doch der Einfachheit halber der Maßstab $\triangle_1$ für diesen berechnet, weil sich nämlich, wie bald ersichtlich werden wird, aus dieser Berechnung ein Schluß auf das Anwendungsgebiet und die Genauigkeitsgrenzen des vorliegenden Näherungsverfahrens ziehen läßt, den man auf die Berechnung von Schleusenböden ohne weiteres übertragen kann.

Wir schließen uns dem oben betrachteten Beispiel eines Stabes an, der durch zwei gleiche Endlasten P beansprucht wird. Ausgehend von der Differentialgleichung der elastischen Linie $EJ \cdot \frac{d^4 y_1}{dx^4} = -p_0 b$ erhält man mit der bereits bekannten Funktion $\varphi = m \cdot x$ und $m = \sqrt[4]{\frac{E_0 b}{4EJ}}$, durch viermalige Integration und sinngemäße Bestimmung der Konstanten

15) $$y_1 = y_0 - y_0 \left(\tfrac{3}{10}\lambda^4 - \lambda^2\varphi^2 + \tfrac{1}{6}\varphi^4\right)$$

als Gleichung der Einsenkungslinie oder

15a) $$p_1 = p_0 - p_0 \left(\tfrac{3}{10}\lambda^4 - \lambda^2\varphi^2 + \tfrac{1}{6}\varphi^4\right)$$

als Gleichung der aus dem Anfangszustand abgeleiteten Bodendrucklinie, wobei $\lambda = m \cdot l$ ist. Die Gleichung der ersten Annäherung lautet dann

16) $$y_1' = y_0 + \triangle_1 (y_1 - y_0) = y_0 - \triangle_1 \cdot y_0 \left(\tfrac{3}{10}\lambda^4 - \lambda^2\varphi^2 + \tfrac{1}{6}\varphi^4\right)$$

oder

16a) $$p_1' = p_0 - \triangle_1 \cdot p_0 \left(\tfrac{3}{10}\lambda^4 - \lambda^2\varphi^2 + \tfrac{1}{6}\varphi^4\right).$$

In gleicher Weise erhält man aus der Differentialgleichung $EJ \cdot \frac{d^4 y_2}{dx^4} = -p_1' \cdot b$ als Ableitung aus der ersten Annäherung den Ausdruck

17) $$y_2 = y_0 - y_0 \left(\tfrac{3}{10}\lambda^4 - \lambda^2\varphi^2 + \varphi_6{}^4\right) + \\ + \triangle_1 \cdot y_0 \left(0{,}0397 \cdot \lambda^8 - \tfrac{13}{90} \cdot \lambda^6\varphi^2 + \tfrac{1}{20} \cdot \lambda^4\varphi^4 - \tfrac{1}{90} \cdot \lambda^2\varphi^6 + \tfrac{1}{2520} \cdot \varphi^8\right).$$

Führt man die Ausdrücke für y_1' und y_2 in die Bedingung ein:

14) $$\int_0^l \frac{\partial (y_2 - y_1')}{\partial \triangle_1} \cdot (y_2 - y_1') \cdot dx = 0,$$

so erhält man

18) $$\triangle_1 = \frac{1}{1 + 0{,}128\lambda^4 + 0{,}000268\lambda^8 + \ldots}$$

In Abb. 13 ist die Abhängigkeit zwischen $\triangle_1$ und λ für den Bereich $0 < \lambda < 4{,}5$ veranschaulicht.

Nun lautet der genaue Ausdruck für die Gleichung der Bodendrucklinie

$$p = \frac{4P \cdot m}{b} (A' \cdot \mathfrak{Cof}\,\varphi \cos\varphi + B' \cdot \mathfrak{Sin}\,\varphi \sin\varphi),$$

worin

$$A' = \frac{\mathfrak{Cof}\,\lambda \cos\lambda}{\mathfrak{Sin}\,2\lambda + \sin 2\lambda} \quad \text{und} \quad B' = \frac{\mathfrak{Sin}\,\lambda \sin\lambda}{\mathfrak{Sin}\,2\lambda + \sin 2\lambda}$$

ist. Diese Ausdrücke erhält man aus den im Abschnitt A angegebenen Ausdrücken und Gleichungen der Gruppen Va und Vb, wenn man $\gamma = 0$ und $\alpha = \lambda$ setzt.

Für $\lambda = 0$ wird mit $\varphi = 0$ $p_{(0)} = \frac{4P \cdot m}{b} \cdot \frac{\mathfrak{Cof}\,\lambda \cos\lambda}{\mathfrak{Sin}\,2\lambda + \sin 2\lambda}$.

Entwickelt man nun die hyperbolisch-trigonometrischen Funktionen in Reihenform bis zu den Gliedern der 8. Potenz, so erhält man

$$p_{(0)} = \frac{4P \cdot m}{b\,4\lambda}\left(1 - \tfrac{3}{10}\lambda^4 + 0{,}0397 \cdot \lambda^8 \frac{4\lambda}{\mathfrak{Sin}\,2\lambda + \sin 2\lambda}\right).$$

Da $\frac{4P \cdot m}{6 \cdot 4\lambda} = p_0$ ist, so kann man mit gewisser Berechtigung die Werte $\triangle_1$ einerseits und $\frac{4\lambda}{\mathfrak{Sin}\,2\lambda + \sin 2\lambda}$ anderseits als gleichbedeutend betrachten, denn die Gleichung 17) liefert für $\varphi = 0$ nach kleinen Umformungen

$$p_{2(0)} = p_0 \left(1 - \tfrac{3}{10}\lambda^4 + 0{,}0397 \cdot \lambda^8 \cdot \triangle_1\right).$$

In Abb. 13 ist auch die Funktion $\frac{4\lambda}{\mathfrak{Sin}\,2\lambda + \sin 2\lambda}$ dargestellt. Vergleicht man nun diese Kurve mit derjenigen von $\triangle_1$, so zeigt es sich, daß die Abweichungen gering sind im Bereich von $\lambda = 0$ bis $\lambda = 2$, d. h. also, daß in allen Fällen, in denen $\lambda \lesseqgtr 2$ ist, die erste Annäherung mit der errechneten Kurve oder dem „Endzustand" sehr gut übereinstimmen muß. Erst wenn $\lambda > 2$ ist, beginnt eine wesentliche Abweichung sich merkbar zu machen.

Dieses sehr wichtige Ergebnis gibt uns den gewünschten Fingerzeig für den Anwendungsbereich des Annäherungsverfahrens. Für $\lambda \leqq 2$ ist die erste Annäherung sehr gut, brauchbar ist sie aber auch für größere Werte von λ.

In dem oben behandelten Zahlenbeispiel eines Schleusenquerschnitts war $\lambda = 1000 \cdot 0{,}0039127 = 3{,}9127$. Es muß daher erwartet werden, daß die Anwendung des Näherungsverfahrens in diesem Falle keine gute Näherung ergeben kann.

Selbstverständlich wird das zeichnerische Verfahren nur in denjenigen Fällen in Frage kommen, wo die erste Annäherung bereits genügende Genauigkeit ergibt, wobei aber durchaus keine zu strengen Anforderungen gestellt werden dürfen. Durch die Ermittlung einer zweiten und dritten Annäherung würde das Verfahren zu zeitraubend werden; theoretisch möglich ist es jedoch, durch Annäherungen höheren Grades jede gewünschte größere Genauigkeit zu erreichen.

3. Der Gang des Verfahrens.

Die Wahl des Anfangszustands ist abhängig von der Art der Belastung. Man muß zwischen lotrechten Lasten und Drehmomenten unterscheiden.

a) Lotrechte Lasten. Bei symmetrischer Belastung ist der Anfangszustand der gleichmäßig verteilte Bodendruck $p_0 = \frac{\Sigma P}{2 \cdot b \cdot l}$, wenn $2l$ die Länge des Stabes bzw. die Breite des Schleusenquerschnitts ist. Bei unsymmetrischer Belastung ist die anfängliche Bodendrucklinie als eine Gerade zu wählen, deren Lage aus dem Gleichgewicht zwischen der Belastung und dem Bodengegendruck zu bestimmen ist. Ist z. B. eine Einzellast P vorhanden (Abb. 14), so erhält man durch Aufstellen der Gleichung für das Drehmoment um den Punkt 0 mit $p_0 = \frac{P}{2bl}$ als Gleichung für den Anfangszustand

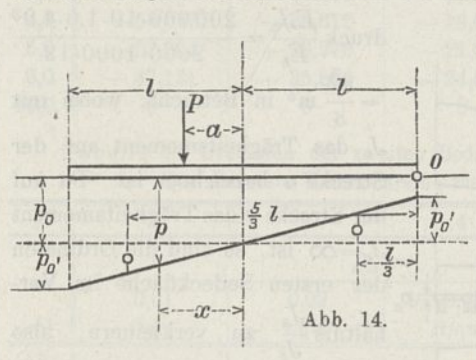


Abb. 14.

$$p = p_0 + p_0 \cdot \frac{3a}{l^2} \cdot x.$$

Sind mehrere Einzellasten vorhanden, so wird

$$p = p_0 + \frac{3x}{l^2} \Sigma P \cdot a, \text{ wobei } p_0 = \frac{\Sigma P}{2bl} \text{ ist.}$$

Aus dem Anfangszustand erhält man die „Ableitung aus dem Anfangszustand", d. h. die oben erläuterte Kurve y_1 bzw. p_1 nach dem bekannten Verfahren als Seileck, indem man zunächst für die Belastung p_0 ein Seileck mit der Polweite 1 zeichnet, das eine Momentenkurve darstellt, darauf für die Momentenfläche als gedachte Belastung ein Seileck mit der Polweite EJ zeichnet. Da $p_1 = y_1 \cdot E_0$ ist, so erhält man die p_1-Kurve, wenn man für das zweite Seileck die Polweite $\frac{EJ}{E_0}$ wählt. Für die Schlußlinie des zweiten Seilecks muß die Bedingung des Gleichgewichts zwischen äußeren Kräften und dem Bodengegendruck beachtet werden.

Nunmehr handelt es sich darum, den Maßstab $\triangle_1$ zu bestimmen. Dies geschieht entweder durch Versuchen, wie oben erläutert, oder durch Rechnung. Aus den oben über $\triangle_1$ gemachten Erörterungen geht, wie sich auch beweisen läßt, hervor, daß $\triangle_1$ nicht von der Belastungsart abhängig ist, daß also bei einer bestimmten Form des Schleusenquerschnitts auch für alle Belastungsarten derselbe ganz bestimmte Wert $\triangle_1$ gilt. Ist $\triangle_1$ gefunden, dann lautet die erste Annäherung der Bodendrucklinie

$$p_1' = p_0 + \triangle_1 (p_1 - p_0).$$

Die zugehörige Momentenkurve erhält man aus der p_1'-Kurve als Seileck mit der Polweite 1. Zeichnet man noch als Seileck aus der Momentenfläche mit der Polweite $\frac{EJ}{E_0}$ die „Ableitung aus der ersten Annäherung", also die p_2-Kurve, so ergibt der Grad der Abweichung zwischen den Werten p_1' und p_2 einen Maßstab für den Grad der erreichten Annäherungsgenauigkeit; die Güte der Annäherung ist um so größer, je mehr die beiden Kurven sich anschmiegen.

Der Gang für die Berechnung der zweiten Annäherung ist der gleiche; man setzt nur an Stelle des Anfangszustandes p_0 die erste Annäherung p_1' und verfährt wie vor. Der Maßstab $\triangle_2$ ist jedoch ein anderer als $\triangle_1$.

b) Drehmomente. Man behandelt Drehmomente zweckmäßig getrennt von der lotrechten Belastung und zwar so, daß man zunächst einen Anfangszustand für die Momentenkurve bildet und daraus eine erste Annäherung für diese ermittelt. Aus der ersten Annäherung der Momentenkurve erhält man die erste Annäherung der Bodendrucklinie als Seileck mit der Polweite $\frac{EJ}{E_0}$. Abb. 15 zeigt, wie der Anfangszustand aussieht, wenn ein Moment M im Abstande a von der Mitte angreift.

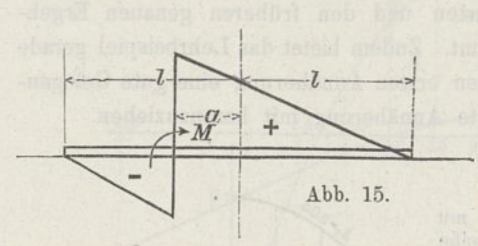


Abb. 15.

4. Zahlenbeispiel zur Erläuterung der Anwendung auf die Berechnung von Schleusenböden.

Als Beispiel möge der im Abschnitt A verwendete Schleusenquerschnitt für den dortigen zweiten Belastungsfall

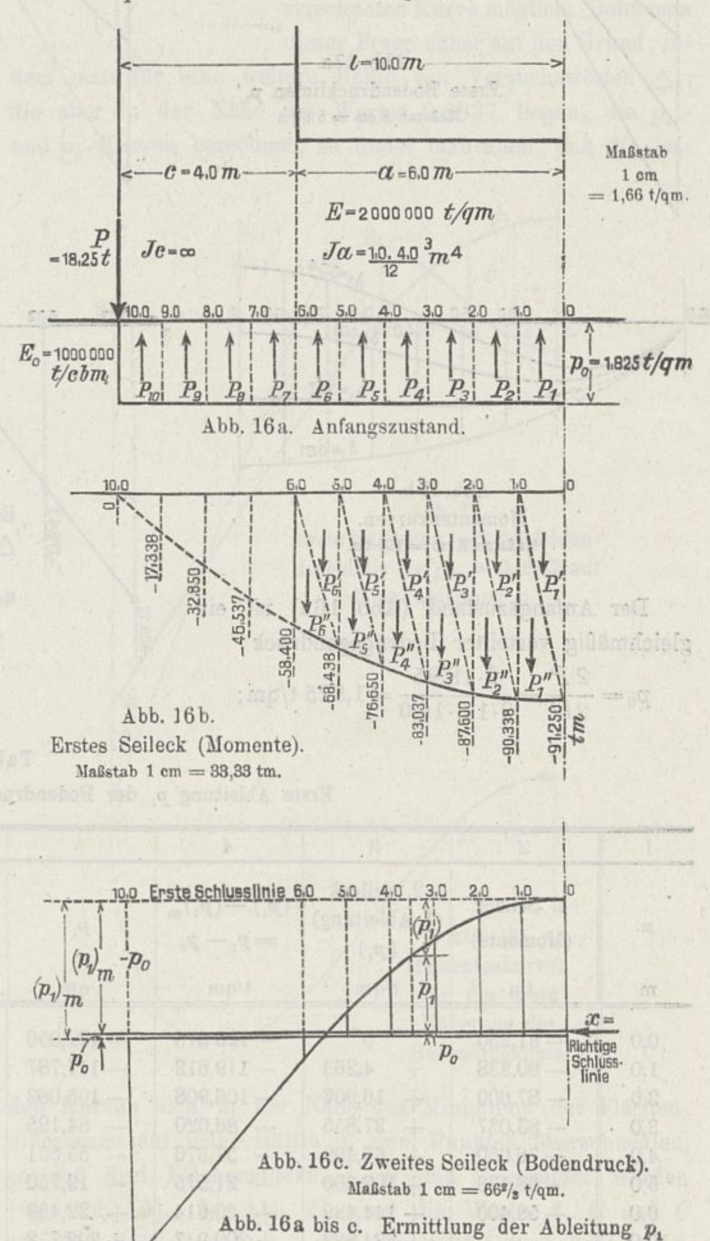


Abb. 16a. Anfangszustand.

Abb. 16b. Erstes Seileck (Momente). Maßstab 1 cm = 33,33 tm.

Abb. 16c. Zweites Seileck (Bodendruck). Maßstab 1 cm = 66⅔ t/qm.

Abb. 16a bis c. Ermittlung der Ableitung p_1 aus dem Anfangszustand.

(zwei Lasten $P = 18{,}25$ t an den Enden) behandelt werden. Obwohl weiter oben bereits gefunden wurde, daß die hier zu erwartende Genauigkeit keine gute sein kann, so sei dennoch an den oben gewählten Maßen und Elastizitätsziffern, insbesondere an dem hohen Wert $E_0 = 1000$ kg/cm³, festgehalten, damit ein klarer Vergleich zwischen den nachstehenden angenäherten und den früheren genauen Ergebnissen zustande kommt. Zudem bietet das Lehrbeispiel gerade infolge der schlechten ersten Annäherung eine gute Gelegenheit, auch die zweite Annäherung mit heranzuziehen.

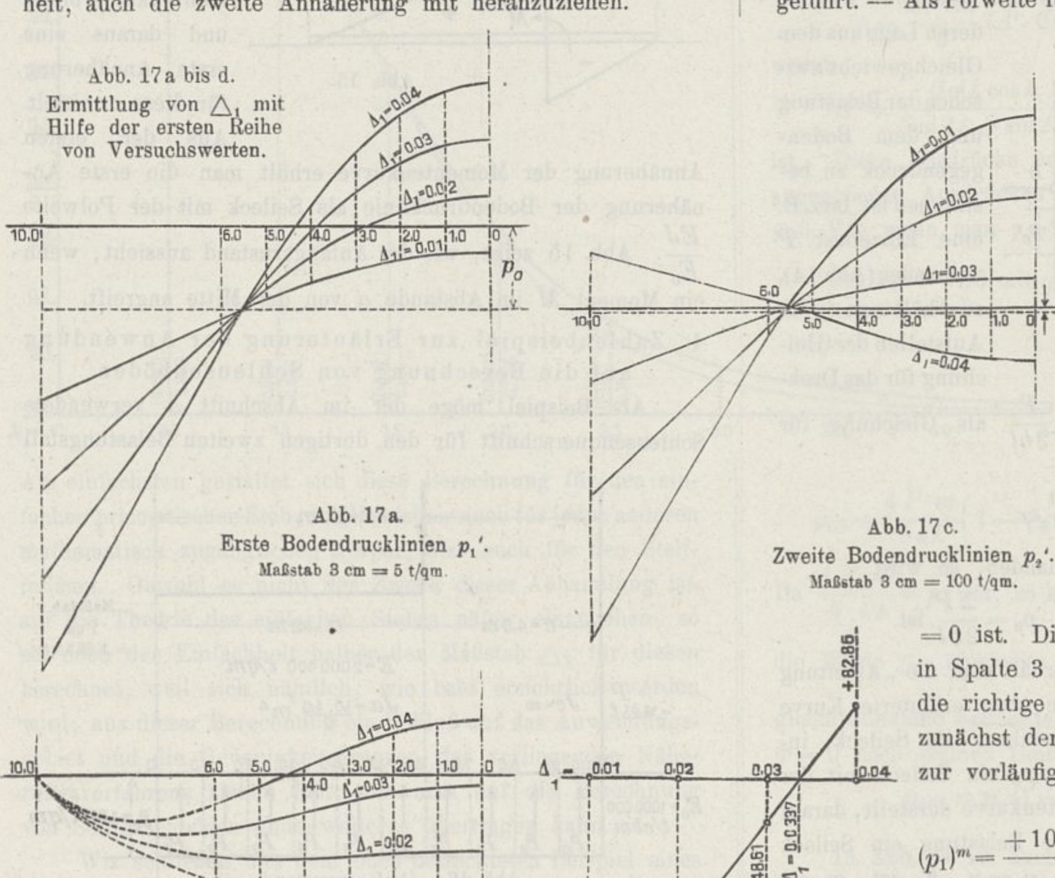


Abb. 17a bis d. Ermittlung von $\triangle_1$ mit Hilfe der ersten Reihe von Versuchswerten.

Abb. 17a. Erste Bodendrucklinien p_1'. Maßstab 3 cm = 5 t/qm.

Abb. 17b. Momentenkurven. Maßstab 3 cm = 100 tm.

Abb. 17c. Zweite Bodendrucklinien p_2'. Maßstab 3 cm = 100 t/qm.

Abb. 17d. Bestimmung von $\triangle_1$ aus der Kurve von A. Maßstab der Ordinaten 13 cm = $\frac{250}{3}$ t/m.

Der Anfangszustand (Abb. 16a) ist ein gleichmäßig verteilter Bodengegendruck

$$p_0 = \frac{2P}{2bl} = \frac{2 \cdot 18{,}25}{2 \cdot 1{,}0 \cdot 10{,}0} = 1{,}825 \text{ t/qm};$$

an Stelle der Bodendruckfläche seien 10 gleiche Einzelkräfte P_1 bis P_{10} je von der Größe 1,825 t gesetzt. Mit diesen Einzelkräften werden das erste Seileck (Momentenkurve) (Abb. 16b) und das zweite Seileck (Ableitung aus dem Anfangszustand) gezeichnet. An Stelle der Zeichnung ist bei diesem Beispiel wegen des Vergleichs mit den genauen Ergebnissen das Verfahren der Berechnung angewandt. Auf die Wiedergabe dieser Berechnungen muß aus Raummangel verzichtet werden. Die Ergebnisse sind in Spalte 2 und 3 der Tabelle 3 aufgeführt. — Als Polweite für das zweite Seileck kommt der Ausdruck

$$\frac{EJ_a}{E_0} = \frac{200\,000 \cdot 10 \cdot 1{,}0 \cdot 4{,}0^3}{2000 \cdot 1000 \cdot 12} = \frac{32}{3} \text{ m}^5$$

in Betracht, wobei mit J_a das Trägheitsmoment auf der Strecke a bezeichnet ist. Da auf der Strecke c das Trägheitsmoment $J_c = \infty$ ist, so sind die Ordinaten der ersten Seileckfläche im Verhältnis $\frac{J_a}{J_c}$ zu verkleinern, also gleich Null zu setzen. Die zweite Seilkurve muß infolge dessen zwischen den Abszissen $x = 6{,}0$ und $x = 10{,}0$ geradlinig verlaufen. Die Schlußlinie des zweiten Seilecks ist zunächst so zu wählen (Abb. 16c), daß bei $x = 0$ die Ordinate $= 0$ ist. Die so berechneten Ordinaten (p_1) sind in Spalte 3 der Tabelle 3 aufgeführt. Um nun die richtige Lage der x-Achse zu finden, muß zunächst der Flächeninhalt durch eine Parallele zur vorläufigen Schlußlinie im Abstande

$$(p_1)^m = \frac{4{,}263 + 16{,}967 + 66{,}499 + 102{,}230 + \frac{5}{2} \cdot 144{,}489 + 2 \cdot 324{,}822}{10{,}0} \cdot 1{,}0 = 123{,}875 \text{ t/qm}$$

ausgeglichen werden. Es muß aber die Summe aller Bodenpressungen $= P$ sein. Mithin wird $p_1 = (p_1) - (p_1)_m + p_0$. Die Ordinaten p_1, also der Ableitung aus dem Anfangszustand, sind in Spalte 4 der Tabelle 3 aufgeführt.

Nun ist $p_1' = p_0 + \triangle_1 (p_1 - p_0)$. Als Versuchswerte seien eingeführt $\triangle_1 = 0{,}01$, $0{,}02$, $0{,}03$

Tabelle 3.

Erste Ableitung p_1 der Bodendrucklinie und Schar der Versuchskurven.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
x	1. Seileck (Momente)	2. Seileck (1. Ableitung) (p_1)	$(p_1) - (p_1)_m = p_1 - p_0$	p_1	$\triangle_1 = 0{,}01$ $p_1' = p_0 + 0{,}01\,(p_1 - p_0)$	$\triangle_1 = 0{,}02$ $p_1' = p_0 + 0{,}02\,(p_1 - p_0)$	$\triangle_1 = 0{,}03$ $p_1' = p_0 + 0{,}03\,(p_1 - p_0)$	$\triangle_1 = 0{,}04$ $p_1' = p_0 + 0{,}04\,(p_1 - p_0)$
m	tm	t/qm	t/qm	t/qm	t/qm	t/qm	t/qm	t/qm
0,0	− 91,250	0	− 123 875	− 122,050	+ 0.586	− 0,652	− 1.891	− 3,130
1,0	− 90,338	+ 4,263	− 119.612	− 117,787	+ 0.629	− 0 567	− 1,763	− 2,959
2,0	− 87.600	+ 16,967	− 106,908	− 105,083	+ 0,756	− 0,313	− 1.382	− 2,451
3,0	− 83.037	+ 37.855	− 86,020	− 84,195	+ 0,965	+ 0,105	− 0,756	− 1,616
4,0	− 76,650	+ 66,499	− 57,376	− 55,551	+ 1,251	+ 0,678	+ 0,104	− 0,470
5,0	− 68,438	+ 102,300	− 21,575	− 19,750	+ 1,609	+ 1,394	+ 1,178	+ 0,962
6,0	− 58,400	+ 144,489	+ 20,614	+ 22,459	+ 2,031	+ 2,237	+ 2,444	+ 2,650
10,0	0	+ 324.822	+ 200,947	+ 202,772	+ 3,835	+ 5,844	+ 7,854	+ 9,863

Tabelle 4. Ordinaten der Momentenkurven für die erste Versuchsreihe von $\triangle_1$.

1	2	3	4	5
x	$\triangle_1 =$			
	0,01	0,02	0,03	0,04
m	tm	tm	tm	tm
0,0	− 62,300	− 33,365	− 4.417	+ 24,519
1,0	− 61,999	− 33,678	− 5,342	+ 22,982
2,0	− 61,057	− 34,529	− 7,988	+ 18,543
3,0	− 59,346	− 35,666	− 11,975	+ 11,707
4,0	− 56,657	− 36,672	− 16,679	+ 3,306
5,0	− 52,704	− 36,976	− 21,244	− 5,516
6,0	− 47,131	− 35,866	− 24,599	− 13,334
10,0	0	0	0	0

Tabelle 5. Ordinaten der zweiten Bodendrucklinien p_2 für die erste Versuchsreihe von $\triangle_1$.

1	2	3	4	5
x	$\triangle_1 =$			
	0,01	0,02	0,03	0,04
m	t/qm	t/qm	t/qm	t/qm
0,0	− 84,230	− 48,784	− 12,818	+ 23,583
1,0	− 81,314	− 47,215	− 12,597	+ 22.458
2,0	− 72,596	− 42,480	− 11,847	+ 19,223
3,0	− 58,229	− 34,504	− 10,328	+ 14,288
4,0	− 38,250	− 23,186	− 7,675	+ 8,279
5,0	− 12,980	− 8,442	− 3,461	+ 1,967
6,0	+ 11,792	+ 8.748	+ 2,726	− 3,843
10,0	+ 147,136	+ 88,299	+ 31,876	− 25,074

Tabelle 6. Differenzen $p_2 - p_1'$ und Flächendifferenzen für die erste Versuchsreihe von $\triangle_1$.

1	2	3	4	5
x	$\triangle_1 =$			
	0,01	0,02	0,03	0,04
m	t/qm	t/qm	t/qm	t/qm
0,0	− 84,816	− 48,132	− 10,927	+ 26,713
1,0	− 81,943	− 46,648	− 10,834	+ 25,417
2,0	− 73,352	− 42,167	− 10,465	+ 21,674
3,0	− 59,194	− 34,609	− 9,572	+ 15,904
4,0	− 39,501	− 23.864	− 7,779	+ 8,749
5,0	− 14,589	− 9,836	− 4,639	+ 1,005
6,0	+ 9,761	+ 6,511	+ 0,282	− 6,493
10,0	+ 143.301	+ 82,455	+ 24,022	− 34,937
A	− 306,1 t/m	− 176,4 t/m	− 48,6 t/m	+ 82,9 t/m

und 0,04. Die diesen Versuchswerten entsprechenden Ordinatenwerte p_1' sind in den Spalten 6 bis 9 der Tabelle 3 enthalten, die Kurvenschar selbst ist in Abb. 17a dargestellt. Für jede Kurve dieser Schar sind ferner die Momentenkurve als erstes Seileck und die zweite Bodendruckkurve p_2 als zweites Seileck berechnet worden; diese Kurven sind in Abb. 17b und 17c dargestellt, die Ordinatenwerte in die Tabellen 4 und 5 aufgenommen. Es erübrigt nun noch, die Differenzen $p_2 - p_1'$ der zugehörigen Kurvenpaare zu bilden (Tab. 6); aus diesen ergeben sich die Flächendifferenzen $\triangle F = |A| + |B| = 2 \cdot A$, da $A = B$ sein muß. Die Bedeutung der Flächenstücke A und B ist durch Abb. 18 erläutert, die zugleich das dem Wert $\triangle_1 = 0{,}030$ entsprechende Kurvenpaar veranschaulicht. Aus der Kurve der Werte A (Abb. 17d) ergibt sich als scheinbares Minimum für den Absolutwert von A der Wert Null; für die Stelle des Minimums wird $\triangle_1 = 0{,}0337$.

Das Minimum von A ist als scheinbar bezeichnet, weil in dem Ergebnis, daß $A = 0$ wird, ein offenbarer Widerspruch liegt. Der Fall $A = 0$ würde doch voraussetzen, daß die

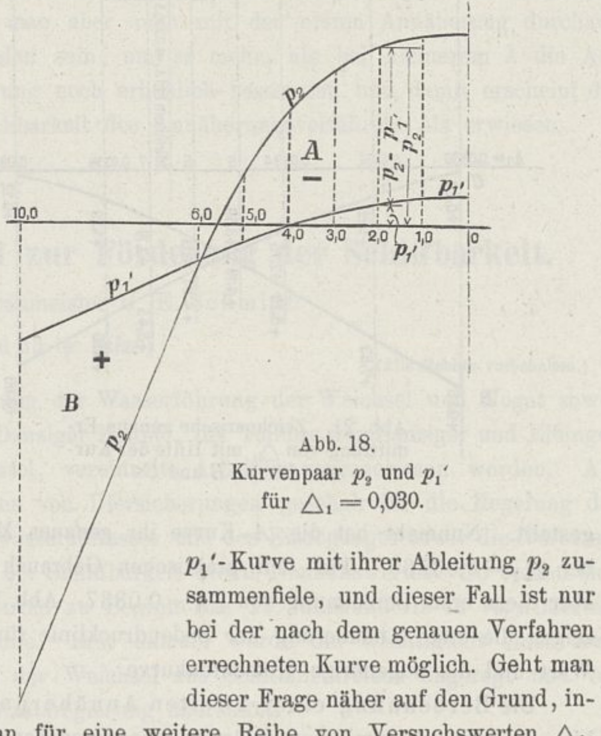


Abb. 18. Kurvenpaar p_2 und p_1' für $\triangle_1 = 0{,}030$.

p_1'-Kurve mit ihrer Ableitung p_2 zusammenfiele, und dieser Fall ist nur bei der nach dem genauen Verfahren errechneten Kurve möglich. Geht man dieser Frage näher auf den Grund, indem man für eine weitere Reihe von Versuchswerten $\triangle_1$, die aber in der Nähe des Wertes 0,0337 liegen, die p_1'- und p_2-Kurven berechnet, so findet man auch, daß die bei-

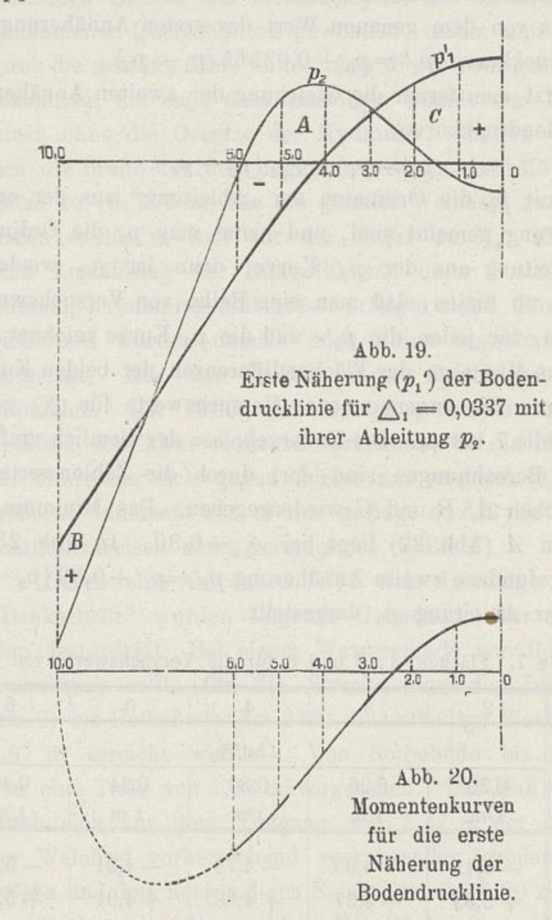


Abb. 19. Erste Näherung (p_1') der Bodendrucklinie für $\triangle_1 = 0{,}0337$ mit ihrer Ableitung p_2.

Abb. 20. Momentenkurven für die erste Näherung der Bodendrucklinie.

den Kurven sich in der Nähe des Minimums der Flächendifferenzen auf jeder Hälfte in zwei Punkten überschneiden, so daß drei Flächenstücke A, B und C gebildet werden (vgl. Abb. 19). In Abb. 21 sind die Werte A, B und C für den Bereich von $\triangle_1$ zwischen 0,030 und 0,040 dar-

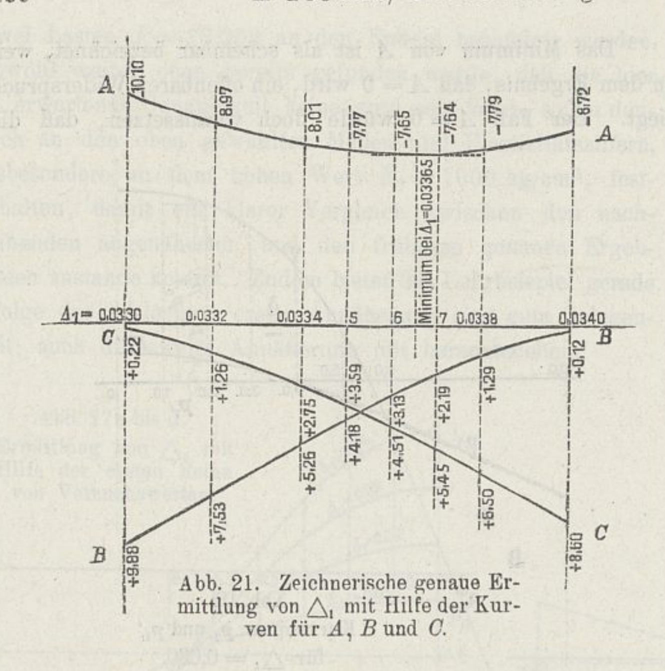


Abb. 21. Zeichnerische genaue Ermittlung von $\triangle_1$ mit Hilfe der Kurven für A, B und C.

gestellt. Nunmehr hat die A-Kurve ihr genaues Minimum bei $\triangle_1 = 0{,}03365$. Für den praktischen Gebrauch genügt aber diese erste Berechnung von $\triangle_1 = 0{,}0337$. Abb. 19 u. 20 zeigen die erste Annäherung der Bodendrucklinie für diesen Wert und die zugehörige Momentenkurve.

Die Berechnung einer zweiten Annäherung möge hier aus rein akademischen Gründen wiedergegeben werden, damit man sich ein Urteil bilden kann, ob es sich überhaupt lohnt, Annäherungen höheren Grades zu berechnen. Man geht aus von dem genauen Wert der ersten Annäherung der Bodendruckkurve $p_1' = p_0 + 0{,}03365\,(p_1 - p_0)$.

Setzt man ferner die Gleichung der zweiten Annäherung der Bodendruckkurve

$$p_2' = p_1' + \triangle_2\,(p_2 - p_1'),$$

wobei mit p_2 die Ordinaten der „Ableitung" aus der ersten Annäherung gemeint sind, und nennt man p_3 die Ordinaten der Ableitung aus der p_2'-Kurve, dann ist $\triangle_2$ wiederum dadurch zu finden, daß man eine Reihe von Versuchswerten annimmt, für jeden die p_2'- und die p_3-Kurve zeichnet und dann das Minimum der Flächendifferenzen der beiden Kurven bestimmt. Die angenommenen Versuchswerte für $\triangle_2$ gehen aus Tabelle 7 hervor. Die Endergebnisse der ziemlich umfangreichen Berechnungen sind dort durch die Zahlenwerte für die Flächen A, B und C wiedergegeben. Das Minimum der Funktion A (Abb. 22) liegt bei $\triangle_2 = 0{,}30$. In Abb. 23 ist die so gefundene zweite Annäherung $p_2' = p_1' + 0{,}30\,(p_2 - p_1')$ mit ihrer Ableitung p_3 dargestellt.

Tabelle 7. Flächen A, B und C für die Versuchswerte von $\triangle_2$.

1	2	3	4	5	6
Fläche	$\triangle_2 =$				
	0,20 t/m	0,26 t/m	0,30 t/m	0,34 t/m	0,40 t/m
A	−5,41	−4,95	−4,78	−4,91	−5,51
B	+3,83	+4,27	+4,58	+4,91	+5,51
C	+1,58	+0,68	+0,20	0	0

Zum Schluß sind nun in Tabelle 8 und 9 sowie in Abb. 24a und 24b die Ergebnisse der ersten und zweiten Annäherung den genauen Werten, die dem in Abschnitt A durchgeführten Beispiel entnommen sind, gegenübergestellt.

Tabelle 8. (Bodendruck.)

x	Erste Annäherung p_1'	Zweite Annäherung p_2'	Genaue Werte p
m	t/qm	t/qm	t/qm
0,0	−2,35	−1,50	− 0,79
1,0	−2,20	−1,18	− 0,86
2,0	−1,78	−1,39	− 1,03
3,0	−1,07	−1,15	− 1,18
4,0	−0,11	−0,63	− 1,09
5,0	+1,10	+0,33	− 0,44
6,0	+2,52	+1,86	+ 1,18
10,0	+8,60	+9,34	+10,24

Tabelle 9. (Moment.)

x	Erste Annäherung M_1	Zweite Annäherung M_2	Genaue Werte M
m	tm	tm	tm
0,0	+ 6,15	+ 3,03	+ 1,54
1,0	+ 5,00	+ 2,28	+ 1,18
2,0	+ 1,70	+ 0,06	− 0,13
3,0	− 3,38	− 3,51	− 2,43
4,0	− 9,38	− 8,20	− 5,88
5,0	−15,50	−13,44	−10,38
6,0	−20,48	−18,25	−15,28
10,0	0	0	0

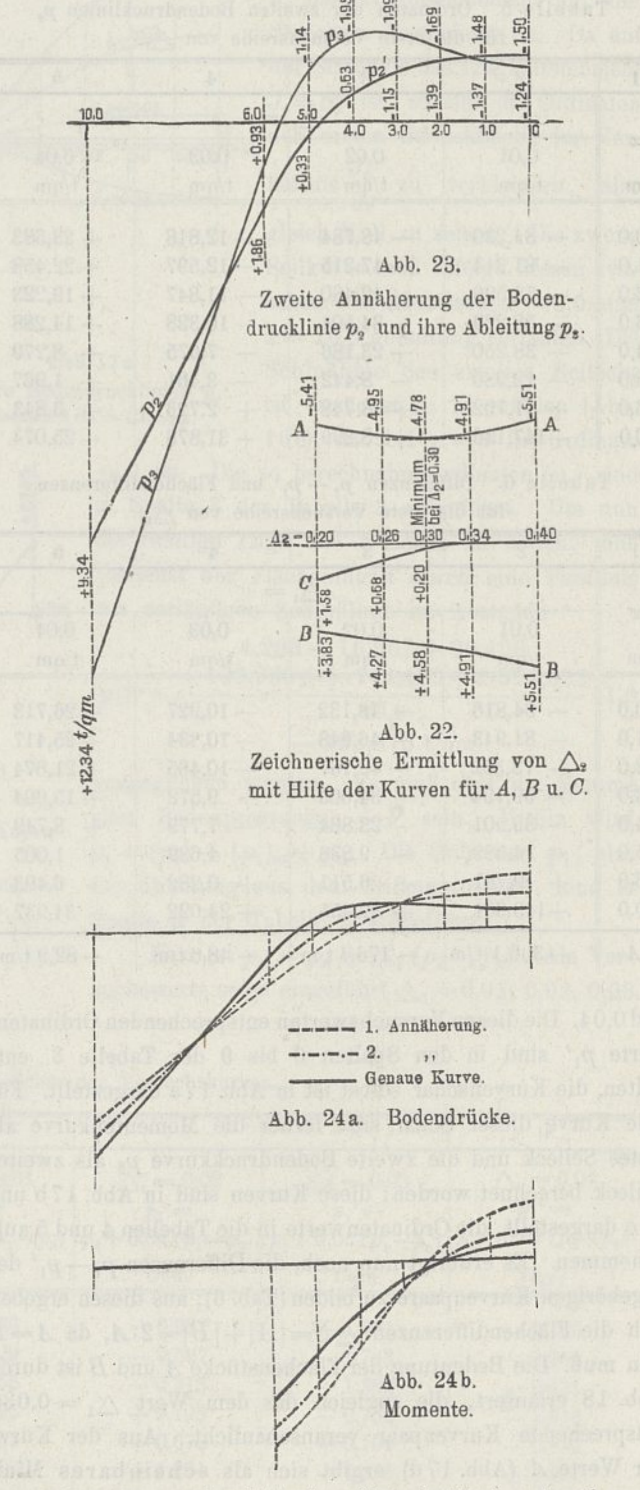


Abb. 23. Zweite Annäherung der Bodendrucklinie p_2' und ihre Ableitung p_3.

Abb. 22. Zeichnerische Ermittlung von $\triangle_2$ mit Hilfe der Kurven für A, B u. C.

Abb. 24a. Bodendrücke.

Abb. 24b. Momente.

Man erkennt deutlich den Fortschritt der Annäherung in Richtung auf die genauen Werte. Die größte Bodenpressung

weicht bei der ersten Annäherung um $\frac{10{,}24-8{,}60}{10{,}24}\cdot 100 = 16$ vH., bei der zweiten nur noch um $\frac{10{,}24-9{,}34}{10{,}24}\cdot 100 = 8{,}8$ vH., das größte Biegungsmoment bei der ersten Annäherung um $\frac{20{,}48-15{,}28}{15{,}28}\cdot 100 = 34$ vH., bei der zweiten Annäherung nur noch um $\frac{18{,}25-15{,}28}{15{,}28}\cdot 100 = 19{,}5$ vH. ab. Jedoch ist die Verbesserung der zweiten Annäherung gegen die erste nicht so bedeutend, daß die Mühe der umfangreichen dazu erforderlichen Berechnungen gelohnt würde. Für die in dem hohen Wert von $\lambda = \backsim 3{,}9$ begründeten ungünstigen Vorbedingungen kann man aber auch mit der ersten Annäherung durchaus zufrieden sein, um so mehr, als bei kleinerem λ die Annäherung noch erheblich besser ist, und damit erscheint die Brauchbarkeit des Annäherungsverfahrens als erwiesen.

Vorschläge zum weiteren Ausbau der Weichsel zur Förderung der Schiffbarkeit.

Von Oberbaurat A. Niese und Regierungsbaumeister G. E. Schmidt.

(Mit Abbildungen auf Blatt 14 und 15 im Atlas.)

Die Erfahrungen im jetzigen Weltkrieg haben gelehrt, daß die Wasserstraßen in viel höherem Maße als bisher zur Bewältigung des Verkehrs mit Massengütern herangezogen werden müssen, um zur Entlastung der Eisenbahnen beizutragen, wenn diese den an sie zu stellenden großen Anforderungen gewachsen bleiben sollen. Die Erkenntnis von dem hohen wirtschaftlichen und militärischen Werte eines leistungsfähigen Wasserstraßennetzes hat sich denn auch immer mehr Bahn gebrochen, wie das die vorjährigen Verhandlungen im Reichstage und preußischen Abgeordnetenhause bewiesen haben. Unzweifelhaft wird der zielbewußte Ausbau unserer natürlichen und künstlichen Wasserstraßen zu den den Staats- und Gemeindebehörden obliegenden wichtigsten Aufgaben gehören, deren Lösung nach Friedensschluß der Technik vorbehalten bleibt. Infolge der durch den Krieg hervorgerufenen Neugestaltung der politischen Verhältnisse im Osten unseres Vaterlandes sind insbesondere für Westpreußen die Vorbedingungen zu einer großzügigen Wasserstraßenwirtschaft gegeben, die mit geradezu zwingender Notwendigkeit auf die Ausgestaltung vorhandener Wasserwege und die Schaffung neuer Wasserstraßen zur Hebung der gesamten Volkswirtschaft der östlichen Provinzen hinweisen. So ist es erklärlich und nur freudig zu begrüßen, daß die schon lange brennende Frage der weiteren Weichselregelung neuerdings mehr in den Vordergrund gerückt ist. Auf Anregung aus Handels- und Schiffahrtkreisen Westpreußens ist in den letzten Jahren die Notwendigkeit eines mehr der Schiffahrt dienenden Ausbaues der preußischen Weichsel in Wort und Schrift behandelt worden. Auch die vorliegende Abhandlung verdankt ihre Entstehung einer Anregung der westpreußischen Handelskammern und der Magistrate verschiedener Weichselstädte. Die nachfolgenden Ausführungen, welche dem Herrn Minister der öffentlichen Arbeiten vorgelegen haben, behandeln die bisherigen Regelungsarbeiten und ihre Erfolge, sowie Vorschläge zum weiteren Ausbau der preußischen Weichsel. Sie dürften gegenwärtig wesentlich zur Klärung und Richtigstellung von Fragen beitragen, die eng mit der Weichselregelung zusammenhängen.

I. Geschichtlicher Abriß der Weichselregelung und statistische Angaben.

In früheren Jahrhunderten wurden an der Weichsel Strombauten nur zur Sicherung einzelner gefährdeter Deiche ausgeführt. Außerdem waren an der „Montauerspitze“ zur Regelung der Wasserführung der Weichsel und Nogat sowie am „Danziger Haupt“, der Teilung der Danziger und Elbinger Weichsel, vereinzelte Arbeiten vorgenommen worden. Abgesehen von Ufersicherungen geschah für die Regelung des Hochwasserabflusses und des Eisabganges sowie die Verbesserung der Schiffbarkeit nichts Nennenswertes. So befand sich der Strom zu Beginn des 19. Jahrhunderts in verwildertem Zustande. Erst damals wurde die Wichtigkeit eines Ausbaues der Weichsel aus Schiffahrtkreisen angeregt und von der Staatsregierung anerkannt.

Die im Jahre 1830 festgelegte und bis auf den heutigen Tag beibehaltene Regelbreite wurde aus 27 zwischen der russischen Grenze und Montauerspitze bei Mittelwasser aufgenommenen Querschnitten gewonnen, indem man den Inhalt durch die mittlere Tiefe teilte. Aus dieser rein geometrischen Beziehung, die nach dem damaligen Stande der Wasserbaukunst, ohne die Gesetze der Hydraulik, erhalten war, ergab sich die Breite für den ungeteilten Strom oberhalb Montauerspitze zu rd. 375 m, für die geteilte Weichsel zu $^2/_3$ dieses Maßes = 250 m und für die Nogat zu $^1/_3$, also 125 m. Eine Ausbildung der Linienführung unter Festsetzung bestimmter Krümmungshalbmesser erfolgte nicht. Für das Hochwasserbett wurden damals noch keine bestimmten Breiten festgelegt. Nur der Umbau enger Deichstrecken wurde empfohlen. Der Erfolg der wenigen, damals ausgeführten Arbeiten war zwar nicht zu verkennen, da die Mindesttiefe der Fahrrinne sich gegen früher um reichlich 0,20 m vergrößerte, indessen war er nur gering, so daß die Klagen aus Schiffahrtkreisen nicht verstummen wollten.

Durch eine im Jahre 1879 dem Landtage vorgelegte „Denkschrift“ wurden folgende Grundlagen für einen Bauplan festgesetzt: Bei einem Wasserstande von 0,50 m a. P. Kurzebrack sollte für die Strecke von der Landesgrenze (km 0) bis Rothebude (km 212) eine ständige Wassertiefe von 1,67 m erreicht werden. Von Rothebude bis zur Ostsee war eine Tiefe von 1,93 m vorgesehen. Das Maß von 1,67 m ergab sich aus dem Tiefgang von 1,47 m der damals auf der Weichsel vorherrschend verkehrenden größeren Schiffsgefäße und dem notwendigen Spielraum von 0,20 m zwischen Schiffboden und Stromsohle. Mit Rücksicht auf den größeren Tiefgang der durch den Weichsel-Haff-Kanal nach dem Haff gehenden Schiffe wurde für die untere Weichsel eine um 0,26 m größere Fahrwassertiefe angestrebt. Der Wasserstand + 0,50 m a. P. Kurzebrack ist das eisfreie mittlere

Niedrigwasser (M.N.W.) der letzten zwanzig Jahre 1896 bis 1915, worauf an dieser Stelle mit Rücksicht auf die weiteren Ausführungen besonders hingewiesen sein mag. Als Regelstrombreiten zwischen den Streichlinien (Buhnenköpfen) wurden die früheren Maße beibehalten. Für die Weichsel von der Landesgrenze (km 0) bis zur Drewenzmündung (km 10,5) wurde die Breite von 300 m festgesetzt.

In der Zeit von 1879 bis 1892 wurde nach diesen Grundsätzen die Festlegung eines einheitlichen Stromschlauches durchgeführt, dessen planmäßiger Ausbau für Mittelwasser von den Regierungen in Danzig und Marienwerder auf die zur einheitlichen Fortführung der Arbeiten im Jahre 1884 errichtete Weichselstrombauverwaltung in Danzig überging. Da sich aber herausstellte, daß die Strombauwerke, vor allen in der früheren ungeteilten Weichsel, zu weit auseinander lagen, wurde seit 1892 noch eine Nachregelung vorgenommen, die jetzt, nachdem das Regelungswerk von Jahr zu Jahr weiter ausgebaut und ergänzt worden ist, als beendet angesehen werden kann.

Die ersten Regelungsarbeiten an der Weichsel wurden, wie erwähnt, auf Grund von Beschwerden aus Schiffahrt treibenden Kreisen ausgeführt. Da die Schiffahrt jedoch infolge der immer schärfer gehandhabten Grenzsperre auf russischem Gebiet mehr und mehr zurückging — sie hat auch heute noch geringe Bedeutung — war das Augenmerk des Staates hauptsächlich darauf gerichtet, zur Förderung der Landeskultur einen für den Wasserabfluß und den Eisgang günstigen Stromschlauch auszubilden. Besonders seit dem Jahre 1889 sind zur Befreiung der Weichselniederungen von den Hochwasser- und Eisgefahren, also wiederum zugunsten der Landeskultur, ganz bedeutende Arbeiten zur Ausführung gelangt, die allein zusammen einen Kostenaufwand von ungefähr 50 Mill. Mark erfordert haben: die Regelung von der Mündung bis Gemlitz mit dem Nehrungsdurchstich, die Hochwasserregelung von Gemlitz bis Pieckel und endlich als Schlußstein dieser Arbeiten der Nogatabschluß. Diese Arbeiten im Mündungsdelta der Weichsel sind in Abb. 1 Bl. 14 „Übersichtskarte der Weichselmündungen" veranschaulicht. Der Nogatabschluß, der nicht nur die Abschließung der Nogat von der Weichsel durch einen festen hochwasserfreien Deich, sondern auch die Kanalisierung der Nogat vorsieht, kommt in seiner Gesamtwirkung der Schiffahrt erheblich zugute. Mit dem Nogatabschluß ist die Hochwasserregelung der Weichsel von der Mündung bis etwa zur Stadt Mewe auf rd. 60 km zur Durchführung gelangt und damit ein großes Werk geschaffen, dessen segensreicher Einfluß den Anwohnern von Weichsel und Nogat immer mehr zum Bewußtsein kommen wird. Auch das ersprießliche Wirken einer Eisbrecherflotte, die jetzt mit Kohlenschiffen und Barkassen aus 13 Fahrzeugen besteht und deren Beschaffung einen Kostenaufwand von ungefähr 1,2 Mill. Mark erfordert hat, darf nicht unerwähnt bleiben. Insgesamt sind bis zum 1. April 1916 für Neuanlagen zu Regelungszwecken (ausschließlich Brückenbauten) auf den der Strombauverwaltung unterstellten Strecken der Weichsel und Nogat 113,7 Mill. Mark verausgabt worden.

Alle Arbeiten sind den auf sie gesetzten Hoffnungen ganz und gar gerecht geworden: der Ausbau des Stromes hat feste Ufergrenzen geschaffen und den Besitzstand gesichert. Durch die Anlage hochwasserfreier Deiche blieben die Niederungen vor Schaden bewahrt. Aber auch der Schiffahrt sind wesentliche Vorteile erwachsen, die von den maßgebenden Kreisen durchaus anerkannt werden. Die Ausbildung einer leistungsfähigen Schiffahrtstraße hat sich bisher noch nicht ermöglichen lassen. Die Schiffahrt auf der Weichsel ist, wie die neueste im Ministerium der öffentlichen Arbeiten herausgegebene „Karte des Verkehrs auf den Deutschen Wasserstraßen im Jahre 1910" beweist, von geringer Bedeutung.

Der Verkehr auf der Weichsel im Vergleich zu demjenigen auf den anderen großen ausgebauten deutschen Strömen, sowie der Bestand an größeren Schleppkähnen geht aus den nachstehenden beiden Zusammenstellungen hervor, die auf Grund der erwähnten Verkehrskarte sowie der Statistik des Deutschen Reiches angefertigt sind.

I. Zusammenstellung der Verkehrsziffern deutscher Ströme im Jahre 1910.

Nr.	Wasserstraße	Streckenverkehr zu Berg in 1000 t	Streckenverkehr zu Tal in 1000 t	Gesamtstreckenverkehr in 1000 t	Geleistete Netto-Tonnen-km in Mill.[2])
1	2	3	4	5	6
1	Weichsel bei Thorn	100	710	810[1])	151
2	Oder oberhalb Fürstenberg	1200	3300	4 500	2190
3	Elbe bei Wittenberg	6400	3700	10 100	4026
4	Weser bei Nienburg	300	660	960	249
5	Rhein bei Köln	14 300	4700	19 000	8879

Bemerkung. In den Spalten 3, 4 und 5 ist der Ortsverkehr nicht mit enthalten.

1) In den Verkehrsziffern der Spalte 5 ist der Schiffs- und Floßverkehr zusammen enthalten. Auf der Weichsel spielt der Floßverkehr gegenüber dem Schiffsverkehr eine ganz überwiegende Rolle. So hat z. B. nach der Verkehrsstatistik der Weichselstrombauverwaltung in dem zehnjährigen Zeitraum 1899 bis 1908 auf Grund der Aufzeichnungen der Zollabfertigungsstelle Thorn durchschnittlich betragen:
a) der Gesamtgüterverkehr . . 173 (Einheit = 1000 t),
b) der Gesamtfloßverkehr . . 1050 („ = 1000 t),
d. h. der Floßverkehr auf der Weichsel hat den Güterverkehr um das Sechsfache übertroffen.

2) Die Angaben in Spalte 6 beziehen sich bei den einzelnen Strömen auf folgende Strecken:
1. Weichsel von der russischen Grenze bis Danzig.
2. Oder von Kosel bis Stettin.
3. Elbe von der österreichischen Grenze bis Hamburg.
4. Weser von Münden bis Bremen.
5. Rhein von der schweizerischen bis zur holländischen Grenze.

II. Zusammenstellung über die Zahl der größeren Schleppkähne.
Bestand am 31. Dezember 1912.

Wasserstraße	Anzahl (1907)	Gesamttragfähigkeit t (1907)	Anzahl (1912)	Gesamttragfähigkeit t (1912)	Bemerkungen
	a) von 400 t bis unter 600 t.				Entnommen aus Band 264 der Statistik des Deutschen Reiches
Weichsel	19	8 658	25	12 002	
Oder	417	203 092	658	331 575	
	b) von 600 t bis unter 1000 t.				
Weichsel	1	653	4	2 622	
Oder	5	3 383	54	35 219	

II. Technische Mitteilungen.

Die Weichsel, deren Eigenart erst nach langjähriger Erfahrung und Tätigkeit am Strome richtig erkannt und beurteilt werden kann, gehört zu den größten Strömen Mitteleuropas; sie wird hinsichtlich der Größe des Niederschlaggebietes mit 198510 qkm von deutschen Strömen nur vom Rhein erreicht und von der Donau übertroffen. Mit der im Westen benachbarten Oder verglichen, sind nicht nur Wassermenge, Gefälle und Querschnitt der Weichsel grundverschieden, auch das Korn des Weichselsandes ist in seiner Feinheit ganz anders als das der Oder. Besonders können die Eisgänge auf der Oder mit denen auf der Weichsel, was die Mächtigkeit anlangt, keinen Vergleich aushalten. Ferner fällt sehr ins Gewicht, daß von dem 1068 km langen Lauf der Weichsel nur der Unterlauf mit rd. 222 km unter preußischer Verwaltung steht und auf Mittelwasser aufgebaut ist, während der übrige Teil des Stromlaufes, abgesehen von kurzen österreichischen Strecken im Oberlauf, noch gänzlich unausgebaut ist.

Entsprechend der bisherigen Hauptaufgabe der Weichsel, als großer Vorfluter den Zwecken der Landeskultur zu dienen, ist ihr Grundriß so gestaltet, daß die Hochwasser- und Eismassen in den durch sanfte Krümmungen verbundenen vielen geraden Strecken gut geführt werden. Der Mittel- und besonders der Niedrigwasserstromstrich (Verbindungslinie der tiefsten Stellen im Querschnitt) ist indessen nicht gleichlaufend zu den durch die Buhnenköpfe festgelegten Regelungslinien (Streichlinien), sondern schlängelt sich von einem Ufer zum andern, dazwischen eine stark gekrümmte Rinne mit vielen flachen Übergängen (Pässen, auch Schwellen genannt) bildend. Bei der leicht beweglichen Stromsohle werden die Sandmassen besonders bei jedem Hochwasser in Bewegung gesetzt und gelangen bei fallendem Wasser in erster Linie dort zur Ablagerung, wo die Räumungskraft (Schleppkraft) des Stromes unzureichend ist. Die neben der Fahrrinne liegenden flacheren Stellen des Bettes, die Sände, sind fortwährenden Veränderungen unterworfen, indem sie allmählich dem Meere zu wandern. Die Folge ist ein öfteres Verlegen (Pendeln) der Fahrrinne und eine unregelmäßige Ausbildung des Längenschnittes der Sohle, „des Talweges". Das ist der jetzige Zustand des Stromes, der für ein Aufblühen der Schiffahrt unleugbar als unbefriedigend bezeichnet werden muß.

Zweifellos würde ein weiterer Ausbau der Weichsel auch für die Landeskultur insofern von Vorteil sein, als durch die Vertiefung der Übergänge die Vorflut besonders bei Niedrigwasser befördert und der künstliche Eisaufbruch sowie die glatte Abführung des Eisganges erleichtert werden würde. Für die Grundeisbildung hingegen ist das Wandern der Sandbänke von untergeordneter Bedeutung. Der Eintritt des Eisstandes hängt in erster Linie von den Temperaturverhältnissen und dem Wasserstande ab und wird wesentlich durch die Eisverhältnisse in der Mündung beeinflußt. Der Eisstand entwickelt sich vielfach von der Mündung stromauf, kann aber auch an jeder anderen Stelle auftreten.

Die Eisdecke, die sich bei niedrigem Wasser an den Sandbänken und auf den flachen Übergängen bildet, ist meist nur dünn und leicht aufzubrechen. Tritt der Eisstand bei starkem Frost und niedrigem Wasser an mehreren Stellen zugleich ein, so bilden sich eisfreie Wasserflächen (Blänken) von zuweilen mehreren Kilometern Länge, die dem guten Fortschreiten der Eisbrecharbeiten sehr zustatten kommen. Hierbei spielt die Wegverlängerung um die Sandbänke herum, die z. B. im Bezirk des Wasserbauamts Culm $3\,{}^1/_3$ vH. beträgt, keine nennenswerte Rolle. Auch der Abgang des Eises wird durch die Sände nicht wesentlich behindert. Bevor das Wasser die Buhnen und die tiefer liegenden Sände nicht überströmt, ist Eisgang kaum möglich, weil die Eisdecke, die sich gewöhnlich bei niedrigen Wasserständen gebildet hat, von den Buhnen festgehalten wird und nur geringe Bewegungen ausführen kann. Werden die Bauwerke überströmt, so geht der Eisgang meist glatt vonstatten. Zur Verhütung von Gefahren bei Abgang des Eises hat sich bis jetzt eine starke Eisbrecherflotte, wie sie an der Weichsel vorhanden ist, mit der es möglich ist, den künstlichen Eisaufbruch möglichst weit stromauf vorzutreiben, als bestes Mittel bewährt. Die Erfahrungen des Winters 1916/1917, der nach einer Reihe verhältnismäßig warmer Winter den Weichselstrom für einige Wochen mit Eis bedeckte, haben dieses wiederum besonders auffallend bestätigt. Trotz der bedeutenden Eismassen, die dem preußischen Teil des Stomes von oben zugeführt wurden, ist nirgends eine Eisstopfung von beachtenswertem Umfange beobachtet worden.

Auf den Ablauf und die Höhe des Hochwassers würde die durch ein Festlegen der Sandbänke erzielte Vertiefung der Übergänge freilich nur von geringer Bedeutung sein, weil im Verhältnis zu der geringen Querschnittzunahme das durch die vorschriftsmäßig 1000 m voneinander entfernt liegenden Deiche begrenzte Hochwasserbett viel zu gewaltig ist. Eine Beseitigung des Wanderns der Sandbänke und die damit im ursächlichen Zusammenhange stehende Festlegung und Vertiefung der Übergänge würde ganz besonders der Schiffahrt zum Vorteil gereichen, weil hierdurch die preußische Weichsel eine leistungsfähigere Wasserstraße werden würde.

Da in dem Verhalten der Übergänge sich der Ausbauzustand eines Stromes am trefflichsten widerspiegelt, so liefern die Ergebnisse von Längspeilungen, durch die ein genaues Bild von dem Talweg eines Stromes erhalten wird, ein vorzügliches Beobachtungsmittel zur Beurteilung der durch die Regelung erzielten Fortschritte. Solche Längspeilungen, bei denen die Lage und Höhe der Fahrrinne aufgenommen wird, werden von der Weichselstrombauverwaltung seit 1901 alljährlich mit der Stecherschen selbsttätigen Peilvorrichtung (Zentralbl. d. Bauverwalt. 1899 S. 568) von der Landesgrenze bis zur Ostsee ausgeführt. In Abb. 1 u. 2 Bl. 15 sind die besonders kennzeichnenden Peilergebnisse der beiden Jahre 1903 und 1904 untereinandergestellt. Das wasserreiche Jahr 1903, dessen mittlerer Jahreswasserstand + 2,47 m a. P. Kurzebrack betrug, weist eine bedeutend ungünstigere Höhenlage der Sohle in der Fahrrinne auf als das darauf folgende wasserarme Jahr 1904 mit einem mittleren Jahreswasserstand von nur + 1,10 m a. P. Kurzebrack. Die Hochwassermassen des Jahres 1903 haben eben eine starke Sinkstoffbewegung zur Folge gehabt, während die niedrigen Wasserstände des Jahres 1904 ein kräftiges Auslaufen der Übergänge bewirkt haben. In Zeiträumen von je zehn Jahren werden die Ergebnisse dieser Längspeilungen zusammengefaßt, um aus dem Vergleich der Durchschnittswerte Schlußfolgerungen auf die Ausbaufortschritte ziehen zu können. Nach dem Durch-

schnitt des Jahrzehnts 1901—1910 weisen hiernach von den 204 Übergängen, die auf der Strecke von der Landesgrenze km 0 bis km 212 (Rothebude) vorhanden waren, 134 Übergänge Fehltiefen, d. h. Mindertiefen gegen das Aus-

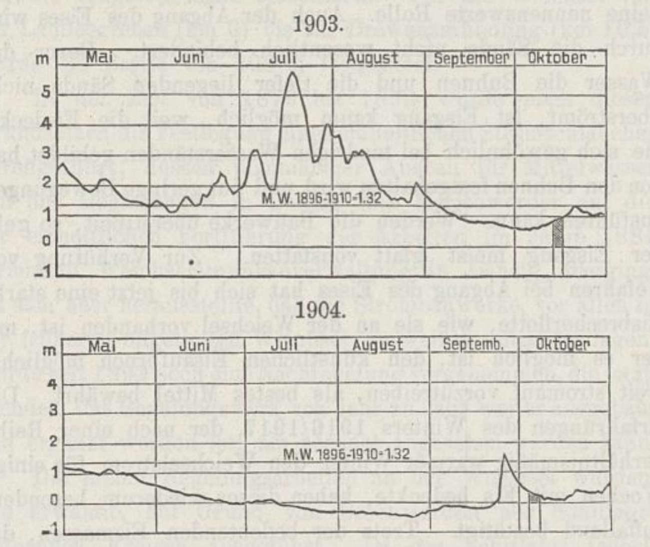


Abb. 1. Verlauf der Wasserstände nach dem Pegel in Thorn 1903 und 1904.

Abb. 2 bis 4. Fehltiefen auf den Übergängen der Weichsel 1901 bis 1910.

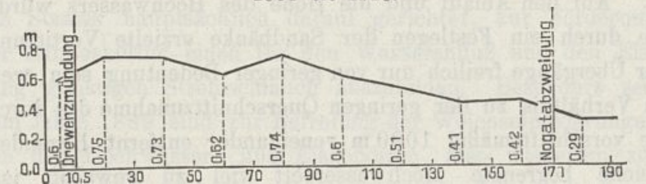


Abb. 2. Mittlere Größe der Fehltiefen in den einzelnen Stromabschnitten im Durchschnitt 1901 bis 1910.

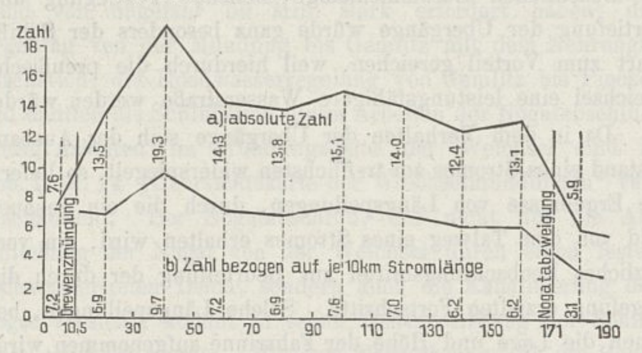
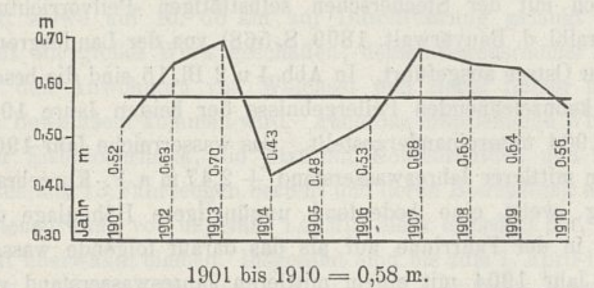


Abb. 3. Mittlere Zahl der Fehltiefen in den einzelnen Stromabschnitten im Durchschnitt 1901 bis 1910.



1901 bis 1910 = 0,58 m.

Abb. 4. Mittlere Größe der Fehltiefen von km 0 = 212 in den einzelnen Jahren.

bauziel von 1879 auf; ihre mittlere Größe schwankt zwischen 0,43 m und 0,70 m je nach dem Wasserreichtum der einzelnen Jahre. Im Durchschnitt des erwähnten Jahrzehnts beträgt die mittlere Größe der Fehltiefen 0,58 m (vgl. Text-Abb. 1 bis 4). Nach einer anderen auf Grund von Handpeilungen der Fahrrinne durch die Strommeister angestellten Untersuchung ist das Ausbauziel von 1879 unterhalb Pieckel schon vor dem Nogatabschluß erreicht gewesen, während auf der Strecke oberhalb Pieckel bis zur Landesgrenze bei M. W. (Mittelwasser) im Mittel mehrerer Jahre 0,76 m und bei M. N. W. (Mittelniedrigwasser) desgleichen 0,51 m fehlen.

Aus einer bei der Weichselstrombauverwaltung seit 1886, also zwei Jahre nach ihrer Begründung, geführten Statistik über die Ladefähigkeit der Weichselschiffe auf Grund der gepeilten Fahrwassertiefen kann gefolgert werden, daß in dem Zeitraum 1900 bis 1909 nur an 129 Tagen der zu 267 Tagen bemessenen Schiffahrtdauer ein Befahren der Weichsel mit voller Ladung der Schiffsgefäße, d. h. mit 1,47 m Tiefgang möglich gewesen ist. Das maßgebende 400 t-Schiff, wie es auf den östlichen Kanälen verkehrt, hat bei einer Länge von 55 m und einer Breite von 8 m einen Tiefgang von 1,40 m. Bei nicht kanalisierten Strömen ist für die Tragfähigkeit der Schiffsgefäße lediglich der Tiefgang, dem die Schiffsform angepaßt werden kann, bestimmend. Die Weichsel war daher an den vorerwähnten Tagen auch für größere Schiffe bis zu 600 t befahrbar. Zurzeit wird die Tragfähigkeit der Weichselschiffe für einen Verkehr nach Danzig durch die Abmessungen der Einlager Schleuse begrenzt, die bei einer nutzbaren Kammerlänge von 61 m eine nutzbare Breite von 12,50 m und eine Drempeltiefe von 2,50 m unter M.W. besitzt (vgl. Jahrg. 1897 Bl. 47 u. 48 d. Z.).

Bedeuten zwar vorstehende Zahlen einen für die verhältnismäßig kurze Zeitdauer der eigentlichen Ausbauarbeiten bemerkenswerten Erfolg, so muß demgegenüber doch festgestellt werden, daß das Regelungsziel der Weichsel leider als noch nicht erreicht anzusehen ist. Was die Ursachen anbetrifft, welche die geschilderten, die Schiffahrt erschwerenden Übelstände hervorrufen, so sind es in erster Linie die wandernden Sandbänke mit ihren Begleiterscheinungen. Sie sind auf den verwilderten Zustand des polnischen unausgebauten Oberlaufes der Weichsel zurückzuführen; nur zum geringen Teil stammen sie aus den Kolken, als Folgeerscheinung der Umgestaltung der Sandbänke durch die größere Räumungskraft (Schleppkraft) des Stromes bei Hochwasser. Solange die Ufer in Polen derartig in Abbruch liegen, wie es der Augenschein lehrt und wie es neuerdings zahlenmäßig durch die Ufergelände-Aufnahmen bewiesen ist, müssen — besonders bei Hochwasser — ganz gewaltige Sandmassen über die Landesgrenze in die preußische Weichsel hineingeschleppt werden. Bei fallendem Wasser lagern sich die Geschiebemengen hauptsächlich dort ab, wo die Geschwindigkeit zu ihrer Fortbewegung nicht ausreicht. Hier bilden sich auf den Verbindungsstrecken zweier benachbarten Tiefstellen, den Kolken, die also die Strommittellinie unter einem mehr oder weniger spitzen Winkel kreuzen, die sogenannten Geschieberücken oder Pässe. (An der Weichsel liegen sie 900 bis 1000 m voneinander entfernt.) Die Kolke bilden gleichsam Wasserbecken oder Haltungen, die durch die Geschieberücken voneinander getrennt sind. Bei weiter fallendem Wasserstande strömt das Wasser aus dem oberen Becken in das untere über den Geschieberücken, wobei letzterer grundwehrartig wirkt. Daher entstehen bei kleinem Wasser auf den Übergängen Gefällbrechpunkte mit starken Gefällverhältnissen. Da aber bei weiter fallendem Wasserstande auch der Durchflußquerschnitt auf den Übergängen infolge der immer stärker werdenden Einengung durch die Sand-

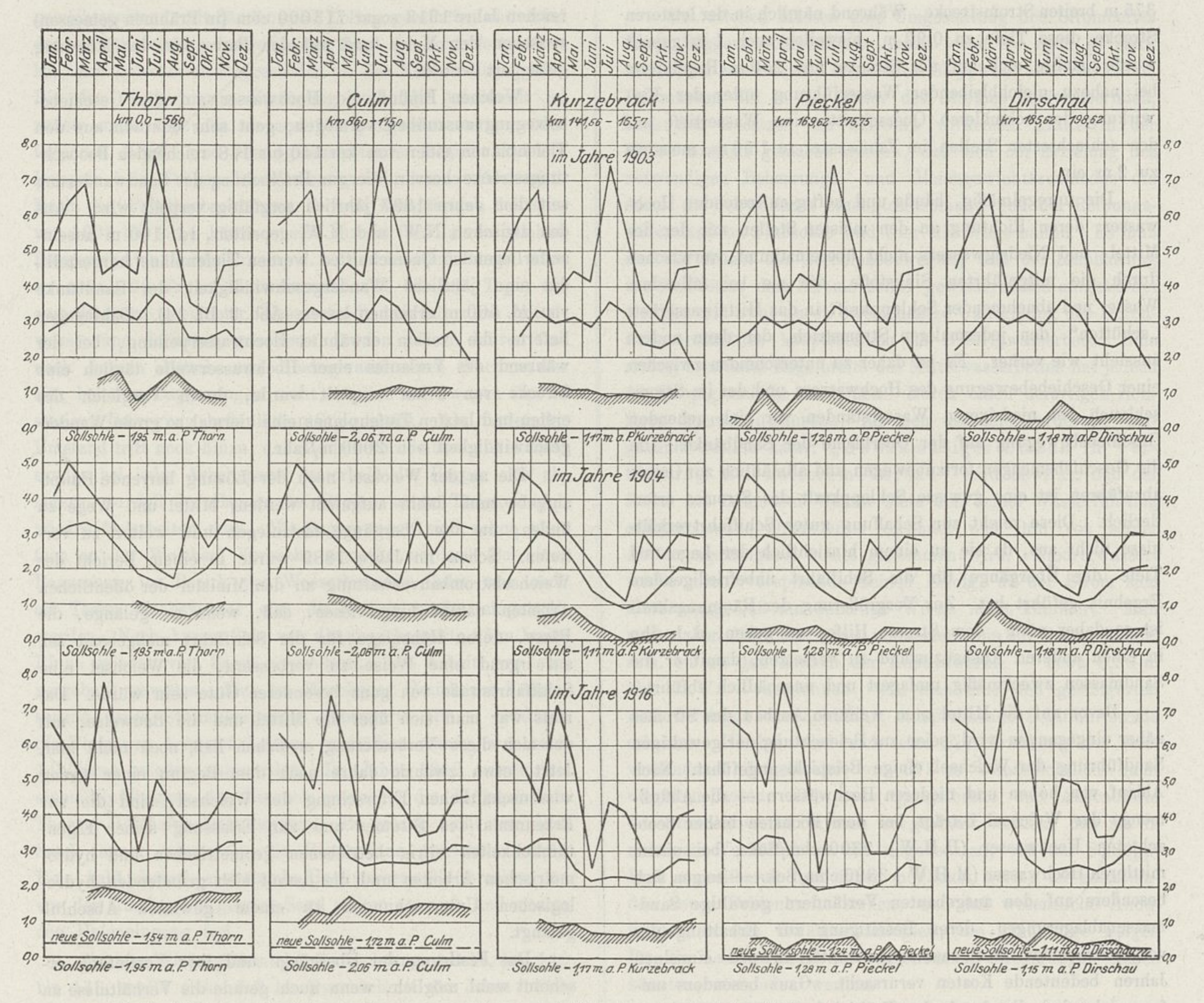


Abb. 5. Höchste und niedrigste Monatswasserstände nebst Höhenlage der flachsten Stellen der Fahrrinnen in den Pegelbezirken.

bänke ständig kleiner wird, so muß hier eine Vergrößerung der Geschwindigkeit des Wassers eintreten, und das fallende Wasser ein entsprechendes Ausspülen, also eine Vertiefung der Stromsohle an diesen Stellen des Flußbettes zur Folge haben. Das ist die auch dem Schiffer ganz bekannte Erscheinung des Auslaufens der Übergänge bei kleinem Wasser. Damit ist es zu erklären, daß die schlechtesten Stellen im Fahrwasser ihren Ort oft ändern und daß bei einer längeren Dauer von Niedrigwasserständen das Fahrwasser sich ständig bessert. Die ausgelaufene Fahrrinne wird von dem nächsten Hochwasser wieder zugeworfen und bei fallendem Wasser wiederholt sich dasselbe Spiel. Der geschilderte Vorgang, der durch Text-Abb. 5 veranschaulicht wird, spiegelt sich recht deutlich wieder in den Peilergebnissen der Jahre 1903 u. 1904 im Pegelbezirk Kurzebrack. Dort waren in dem besonders wasserreichen Jahre 1903 auf den Übergängen Fehltiefen von rd. 1 m vorhanden, während in dem folgenden wasserarmen Jahre 1904 die von Februar ab ständig fallenden und in den einzelnen Monaten nur geringen Schwankungen unterworfenen Wasserstände ein Auswaschen der Stromsohle auf den Übergängen in der Weise bewirkten, daß im Monat August die Höhenlage der Sollsohle erreicht, also keine Fehltiefe mehr festgestellt wurde. Als dann im September der Wasserstand zu steigen begann, höhte sich entsprechend die Sohle auf den Schwellen wieder auf. Auch in den andern Pegelbezirken läßt sich diese Vertiefung der Übergänge bei längerem Niedrigwasser deutlich verfolgen. Besonders bemerkenswert hinsichtlich der Abflußverhältnisse ist das Jahr 1917. Nach einem recht hohen und lange andauernden Frühjahrshochwasser fiel der Wasserstand derartig schnell, daß bereits am 1. Juli der mittlere Niedrigwasserstand erreicht war. In dieser Höhe haben sich dann die Wasserstände, von ganz unbedeutenden Schwankungen abgesehen, ständig gehalten. Das sonst regelmäßig auftretende Sommerhochwasser blieb vollständig aus. Die lange Dauer der niedrigen Beharrungswasserstände bot daher eine seltene und besonders günstige Gelegenheit, die Fahrwassertiefen auf den Übergängen fortgesetzt zu beobachten. Hierbei ergab sich nun die bemerkenswerte Tatsache, daß in der 250 m breiten Stromstrecke die geringste Fahrwassertiefe rd. 1 m größer war als in der

375 m breiten Stromstrecke. Während nämlich in der letzteren Strecke diese Tiefe zu 0,90 m, bisweilen auch 1 m gepeilt wurde, stellte sich auf der Strecke mit 250 m Regelbreite bei nahezu gleichbleibender Wasserführung unter der Einwirkung des schmäleren Querschnitts eine Wassertiefe auf den schlechtesten Stellen im Fahrwasser zu 1,90 m, meistens zu 2 m ein.

Die unregelmäßig, häufig und heftig auftretenden Hochwasser, deren Richtung an den meisten Stellen mit der des Mittel- und Niedrigwassers nicht übereinstimmt, verwischen durch die mitgeführten Sinkstoffe, die sie bei fallendem Wasser und abnehmender Schleppkraft in das Mittelwasserbett „schütten", den jedesmaligen Stromstrich, der dann anders aussieht wie vorher. Es ist daher zu unterscheiden zwischen einer Geschiebebewegung des Hochwassers und der im Stromschlauch bei niedrigeren Wasserständen vor sich gehenden Geschiebebewegung auf der Oberfläche der Sandbänke. Um die Geschiebemengen fortzubewegen und allmählich zur Ostsee abzuführen ist eine gewisse Schleppkraft des Stromes erforderlich. Diese reicht zur Schaffung guter Schiffahrtverhältnisse nicht aus, da sie zu einem hinsichtlich der Lage und Tiefe der Übergänge für die Schiffahrt unbefriedigendem Ergebnis geführt hat. Zur Vergrößerung der Räumungskraft ist es daher nötig, dem Strome Hilfen zu geben, d. h. ihn in einen anderen Ausbauzustand zu versetzen, damit er die Sandmassen zweckmäßig umlagert und unschädlich abführt.

Bevor auf die Mittel zum weiteren Ausbau des Stromes näher eingegangen wird, seien zur Beleuchtung der gewaltigen Sandführung der Weichsel einige Beispiele angeführt. Nach Ablauf von hohen und niederen Hochwässern — die Abflußmenge der Weichsel beträgt bei dem höchsten bisher beobachteten Hochwasser (H.H.W.) 9300 cbm/Sek., bei einem mittleren Hochwasser (M.H.W.) 3390 cbm/Sek. — zeigen sich besonders auf den ausgebauten Vorländern gewaltige Sandmassenablagerungen, deren Beseitigung zur Erhaltung des vorgeschriebenen Hochwasserquerschnitts in den einzelnen Jahren bedeutende Kosten verursacht. Ganz besonders umfangreich sind die durch das Frühjahrhochwasser 1917 bewirkten Sandmassenablagerungen. Der aus dem Oberlauf der Weichsel stammende Sand- und Schlickfall, der nach jedem Hochwasser besonders auf den mit Weidenstrauch bestandenen Vorländern festzustellen ist, besitzt bisweilen mehrere Zentimeter Stärke. Im Jahre 1912 wurde bei dem Frühjahrhochwasser der Schlickgehalt des Weichselwassers bei Thorn zu überschlägig 300 g für 1 cbm Wasser ermittelt. Nach einer während eines Sommerhochwassers im Jahre 1913 ausgeführten Peilung sind auf einer 2 km langen Stromstrecke etwas oberhalb der Münsterwalder Brücke in acht Tagen rd. 69000 cbm Sand im Strombett vorübergehend zur Ablagerung gelangt. Auf Grund der Untersuchungen über die Sandablagerungen vor der Weichselmündung bei Schiewenhorst sind von der Eröffnung des Nehrungsdurchstiches bis zum Nogatabschluß (1895 bis 1914) im Jahre durchschnittlich 576000 cbm Sand auf einer Beobachtungsfläche von rd. 1730 ha vor der Mündung angeschwemmt, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß ein Teil der von oben zukommenden Sandmassen durch die Nogat dem Frischen Haff zugeführt ist, und daß in den Jahren 1905 bis 1915 durchschnittlich jährlich 430000 cbm, im Sommer 1914 nach dem wasserreichen Jahre 1913 sogar 713000 cbm (in Prähmen gemessen) zwischen den Molen und auf der Barre vor der Mündung gebaggert wurden.

Welchen Einfluß die Hochwasser auf die Geschiebebewegung auszuüben vermögen, geht sehr deutlich aus den Tiefenplänen einer von km 140 bis 148 reichenden Beobachtungsstrecke hervor, die zur Erforschung der Sandwanderung seit dem Jahre 1897 jährlich sorgfältig verpeilt wird. Aus den zwischen N.W. und M.W. gepeilten, rd. 100 m auseinanderliegenden Querschnitten werden Tiefenpläne hergestellt, die eine jährliche Wandergeschwindigkeit der Sandbänke von rd. 500 m erkennen lassen (Abb. 2 Bl. 14). Dahingegen lieferte die vorhin erwähnte Hochwasserpeilung, bei der während des Verlaufes einer Hochwasserwelle täglich eine Strecke von 2 km verpeilt wurde, durch Vergleich des ersten und letzten Tiefenplanes eine viermal so große Wandergeschwindigkeit von 2000 m/Jahr.

Die an der Weichsel noch der Lösung harrende Hauptaufgabe muß dahin aufgefaßt werden, Mittel und Wege zu finden, um die Übergänge festzulegen und weiter zu vertiefen. Schon im Jahre 1889 wurde in einem Bericht der Weichselstrombauverwaltung an den Minister der öffentlichen Arbeiten darauf hingewiesen, daß, wenn es gelänge, die Pässe, deren Höhenlage für die Schiffahrt maßgebend sei, auf irgend eine Weise zu verbessern, die Weichsel eine Schiffahrtstraße von ganz besonderer Güte sein würde. Damals war man sich über die Mittel und die Bauweise, mit der sich diese Verbesserung erreichen ließ, noch nicht klar. Jetzt, etwa zwanzig Jahre nach dem Beginn einer streng wissenschaftlichen Erforschung der Weichsel, sind die zur Erkenntnis des Stromes und zur Erfassung seiner Eigentümlichkeiten eifrig betriebenen geometrischen und hydrometrischen Arbeiten und die darauf sich gründenden hydrologischen Untersuchungen zu einem gewissen Abschluß gelangt.

Das Festlegen der Übergänge und ihre Vertiefung erscheint wohl möglich, wenn auch gerade die Verhältnisse an der Weichsel eine derartige Aufgabe erschweren. Was zunächst die Vertiefung anbetrifft, so findet man in weiten Kreisen häufig die Ansicht, daß umfangreiche Baggerungen als wirksamstes Mittel angewendet werden könnten. Mit Baggerungen ist jedoch an der Weichsel, wo das geringste Wachswasser die durch Baggern erzielte Wirkung verwischt, nichts Dauerndes zu erreichen. Baggerungen sind aber im allgemeinen zwecklos und nur im Mündungsgebiet zur besseren Abführung des Eises nützlich, allenfalls auch dort, wo Kiesbänke und Steinablagerungen den Strom hindern, selbst eine Vertiefung der Übergänge zu schaffen. Durch Baggern sind nur vorübergehende Wirkungen zu erzielen und auch nur durch Geräte von großer Leistungsfähigkeit, weil bei der großen Breite der Weichsel und der Mächtigkeit der Sandfelder die zu bewegenden Sandmassen sehr erheblich sind. Gänzlich ausgeschlossen erscheint daher nach den Erfahrungen an der Weichsel die neuerdings in den Fachschriften empfohlene Verwendung von Handbaggern, mittels deren der Sand von geeigneten Fahrzeugen aus aufgerührt wird. Ein Versuch, auf diese Weise den gebaggerten Sand zum Ausfüllen der Kolke zu verwenden, wird nie gelingen. Es läßt sich nicht erreichen, daß der Strom, nachdem er sich seinen Gleich-

gewichtszustand mit Sänden und Kolken geschaffen und dabei den verhältnismäßig festgelagerten Sand der Sohle fortgeführt hat, den gelockerten Baggerboden in den Kolken liegen läßt. Die den Baggern zur Verfügung stehende Arbeitszeit ist zudem meist kurz, da sie erst bei geeigneten stetigen oder fallenden Mittel- und Niedrigwasserständen beginnt und ein Baggern beim Steigen des Wassers gewöhnlich zwecklos wird. Nach den Pegelbeobachtungen in dem zehnjährigen Zeitraum von 1905 bis 1914 hätte es sich nur in fünf Jahren gelohnt, Baggerarbeiten vorzunehmen, d. h. nur in fünf Jahren wäre an etwa 100 Tagen hintereinander (86 bis 164 Tage) ein zum Baggern geeigneter Wasserstand, bei fallendem Mittelwasser und darunter, gewesen. In den andern Jahren trat nach kurzen Mittel- und Niedrigwasserzeiten Wachswasser ein, bei dem Baggerungen nicht möglich sind wegen des in stetiger Bewegung befindlichen Strombettes. Als hindernder Umstand tritt noch hinzu, daß die feineren Teile des Weichselsandes bei jeder Arbeitspause unterhalb der Bagger sich ablagern, so daß der Bagger bei Beginn neuer Tätigkeit sich wieder freiarbeiten muß. Mit Baggerungen sind schon vielfach an der Weichsel Versuche gemacht worden! Bei einer Baggerung im Bezirk des Wasserbauamts Culm trat nach elf Tagen Wachswasser ein; die Arbeit mußte eingestellt werden. Nach kurzer Zeit war die ausgebaggerte 25 m breite Rinne wieder von Sand verschüttet. Die Arbeit war also vergebens gewesen. Eine im Dirschauer Bezirk zur Verbesserung eines Stromüberganges gebaggerte Rinne, wodurch die Tiefe von 1 m auf 1,40 m vergrößert wurde, war nach 14 Tagen wieder zugesandet. Im Jahre 1912 wurde mit einem Spülbagger der Versuch gemacht, die Einfahrt zum Thorner Holzhafen freizubaggern. Es gelang nicht, weil der Sand immer wieder in die Baggerrinne getrieben wurde. Eine bald darauf eintretende Hochwasserwelle brachte den vor der Mündung liegenden Sand weiter stromab und machte den Hafeneingang frei.

Aus den Tiefenplänen der Beobachtungsstrecke, km 140 bis 148, ergibt sich, daß im Durchschnitt der Jahre 1910, 1911 und 1912 von der gesamten 8 km langen Strombettfläche 60 vH. derartig mit Sand bedeckt waren, daß auf ihnen bei M.W. Wassertiefen von weniger als 3 m vorhanden waren, d. h. über der nach dem Ausbauziel angenommenen Sollsohle lagen.

Eine überschlägige Berechnung ergibt nach der Peilung des Jahres 1916 für die Strecke km 140 bis 144 die über der 3 m-Tiefenlinie-Sollsohle liegende Sandmasse auf 1 km Länge zu rd. 203500 cbm, das ist für die Weichsel von der russischen Grenze bis Pieckel — km 171 — eine Gesamtmasse von rd. 34,8 Mill. cbm. Dem stehen auf derselben Strecke, km 140 bis 144, Kolke mit einem Inhalt von 244100 cbm/km gegenüber. Legt man für dasselbe Jahr die 3,50 m-Tiefenlinie zugrunde, so stehen auf 1 km rd. 317000 cbm Sand einem Kolkinhalt von 187500 cbm gegenüber. Nach beiden Massenermittlungen würde ein Ausgleich zwischen den Sandmassen einerseits und den Kolkinhalten anderseits herbeigeführt werden, wenn die nach dem bisherigen Ausbauziel auf 3 m liegend angenommene Sollsohle auf 3,12 m gelegt wird. Der oben angeführte Überschlag gibt eine Vorstellung von den Massen, die zur Erreichung des Zieles mittels Baggerung zu beseitigen wären.

Bei solchen Massen eine Umgestaltung des Strombettes durch Baggermaschinenkräfte, auch wenn sie noch so stark wären, zu bewältigen, hieße eine Sisyphusarbeit verrichten. Da müssen die in der Natur des Stromes schlummernden, nach den Gesetzen der Schwere wirkenden Kräfte in der Weise nutzbar gemacht werden, daß sich zur Erzielung des notwendigen Beharrungs- und Gleichgewichtszustandes die durch die Schwerkraft erzeugte Strömung und der Reibungswiderstand an Flußsohle und Ufer die Wage halten. Es muß also die Arbeit der Geschiebebewegung und der Reinhaltung des Flußbettes dem Strome selbst gewissermaßen aufgebürdet werden, und zwar durch zweckmäßige Umformung des Durchflußquerschnittes hauptsächlich im Niedrigwasserbett. Eine richtig ermittelte Regelbreite des Mittelwasserbettes hat jedoch die Hauptgrundlage zu bilden. Durch einen derartigen richtigen Querschnittsausbau, für den also die Forderung aufgestellt werden kann: „Zweckmäßiger Umbau in Verbindung mit weiterem Vorbau“ wird bewirkt, daß der Strom bei fallendem Wasser stets den seiner Wasserführung entsprechenden Querschnitt vorfindet und ihm von seiner Abführungsfähigkeit nichts genommen wird. Niedrigwasserwerke allein versprechen keinen Erfolg, da der Strom sich erfahrungsgemäß um derartige Werke nicht kümmert. Man muß daher die Umformung mindestens bis zur Bauwerkhöhe, d. h. bis zu den Kronen der Ausbauwerke — etwa 0,30 m über M.W. — ausdehnen, will man eine den gesteigerten Anforderungen der Schiffahrt entsprechende Schiffahrtstraße erhalten. Hierbei wird sich eine Einschränkung der jetzt vorhandenen Regelbreite von 375 m voraussichtlich nicht umgehen lassen. Die neue Spiegelbreite und Ausbauform der Strombauwerke müssen so gewählt werden, daß sie in richtigem Verhältnis zu der ungedeckten, von der Schleppkraft angreifbaren und daher möglichst gering zu gestaltenden neuen Sohlenbreite stehen, und daß wesentliche Änderungen in den Gefällverhältnissen, die nachteilige Folgen für die Landeskultur der angrenzenden Niederungen haben könnten, vermieden werden.

Daß von Niedrigwasserwerken allein nicht viel zu erhoffen ist, dafür seien einige Beispiele ausgeführter Versuchsbauten angeführt: Im Jahre 1903 wurde im Bezirk des Wasserbauamtes Thorn am linken Stromufer bei km 40 ein Niedrigwasser-Längswerk in einer Länge von 730 m errichtet, das bei niedrigen Wasserständen die Strombreite zwischen den Streichlinien um 125 m, also von 375 m auf 250 m einschränkte. Die Krone des aus Sinkstücklagen hergestellten Werkes wurde mit Rücksicht auf die Schiffahrt auf + 0,50 m a. P. Thorn, d. i. 0,90 m unter M.W. angeordnet. Die Wirkung des Werkes ist neun Jahre hindurch bis 1912 durch sorgfältige Peilungen beobachtet worden. Der damit angestrebte Zweck, eine gleichmäßigere größere Wassertiefe zu erreichen, gelang nicht. Eine Einwirkung auf die Sandwanderung wurde nur insofern erreicht, als die Übergänge eine etwas gestrecktere Form annahmen und die Wandergeschwindigkeit des Sandes sich von 450 m auf 564 m durchschnittlich im Jahre vergrößerte.

Auch mit Niedrigwasserquerwerken sind bereits vor zehn Jahren von der Strombauverwaltung Versuche gemacht worden. In jedem Bauamtsbezirk wurden vor einzelnen Buhnen, und zwar entweder an dem rechten oder an dem

linken Ufer, sogenannte Versuchsbuhnen vorgebaut, die aus 1:20 geneigten, an die Berme der Buhnen, also in Höhe von + 0,90 m a. P. Kurzebrack, sich anschließenden etwa 30 bis 40 m in das Niedrigwasserbett hineinragenden Vorlagen aus Sinkstücken bestanden. Da ein sicherer Einfluß dieser kopfschwellenartigen Unterwasserbuhnen auf die allgemeine Sandwanderung der Weichsel nicht zu erkennen war, wurden die für einen Strom wie die Weichsel freilich mit unzulänglichen Mitteln und daher in zu geringer Ausdehnung durchgeführten Versuche, auch weil ihre weitere Verfolgung für den Erfolg viel zu teuer war, im Jahre 1911 wieder eingestellt.

Aber auch auf einer längeren Probestrecke und an beiden Ufern angewendet, würde die Anlage von Kopfschwellen allein nach diesseitiger Ansicht einen sichereren Erfolg kaum verbürgen. Durch tiefliegende Kopfschwellen läßt sich der Querschnitt nicht so umgestalten, daß der Strom bei fallendem Wasser stets den seiner Wasserführung entsprechenden Querschnitt vorfindet. Eine größere Einschränkung der Sohle gegenüber derjenigen der Spiegelbreite empfiehlt sich allerdings, um den gegen Angriff des Wassers nicht gesicherten Teil des Flußbettes möglichst schmal zu gestalten. Soll aber auf die Bewegung der Sinkstoffe ein merklicher Einfluß ausgeübt werden, so müssen die Wassermassen auch schon bei Mittelwasser mehr als jetzt zusammengehalten, es muß also schon in dieser Höhe eine gewisse Einschränkung der Regelbreite vorgenommen werden. Die Festsetzung des Maßes der erforderlichen Einschränkung muß eingehenden hydrometrischen Erhebungen und hydraulischen Berechnungen vorbehalten bleiben. Nach dieser Richtung hin sind sorgfältige wissenschaftliche Untersuchungen bei der Strombauverwaltung schon seit längerer Zeit im Gange, die leider durch den Krieg eine Unterbrechung und Verzögerung erfahren haben.

Als Anhalt für die Breitenbemessung können die drei verschiedenen Hauptabschnitte der preußischen Weichsel dienen. Die Stromstrecke von der Landesgrenze (km 0) bis zur Drewenzmündung (km 10,5) hat nämlich 300 m Regelbreite, d. i. die Entfernung der beiderseitigen Streichlinien (Korrektionslinien) voneinander in Kronenhöhe der Regelungswerke. Die anschließende Strecke bis zur Nogatabzweigung (km 171) weist 375 m und die Strecke der ehemals geteilten Weichsel bis km 216,5 250 m Regelbreite auf. Von km 216,5 ab verbreitert sich der Strom trompetenartig bis auf 450 m in der Mündung am Ende der Dünen. Die erwähnten drei Stromstrecken weisen naturgemäß hinsichtlich des Abstandes der Übergänge und des Verhaltens der Fehltiefen auf den letzteren wesentliche Abweichungen auf (Abb. 2 bis 4 Bl. 14). Besonders zeigt es sich in der untersten Stromstrecke, in der nach dem Nogatabschluß im Februar 1915 die gesamte Wassermenge der Weichsel durch einen Querschnitt von bedeutend geringerer Regelbreite abgeführt werden muß. Während vor dem Abschluß der Nogat in der sog. „Geteilten Weichsel" bei M.W. 840 cbm/sek. und bei M.N.W. 468 cbm/sek. abgeführt wurden, gelangen jetzt bei M.W. 1010 cbm/sek. und bei M.N.W. 520 cbm/sek. zum Abfluß. Zur Beobachtung der Wirkungen des Nogatabschlusses wurde bereits im Jahre 1910 eine Beobachtungsstrecke von km 168 bis 178 eingerichtet, die seit dem Jahre 1911 regelmäßig mit der oberen Beobachtungsstrecke von km 140 bis km 148 zusammen verpeilt worden ist. Einen Vergleich der Peilpläne dieser Strecke mit denen der oberen Beobachtungsstrecke ergeben die Abb. 2 bis 4 Bl. 14. Der nach dem Nogatabschluß erstmalig aufgenommene Tiefenplan läßt die Wirkung deutlich erkennen. Die 3 m-Tiefenlinien (jetzige Sollsohle) am linken und rechten Ufer, die bisher wie auch jetzt noch oberhalb km 171 bis zur Landesgrenze etwa alle Kilometer durch einen Paß, die Geschiebeschwelle, getrennt waren, haben sich ineinander verschlungen. Der Talweg hat sich wesentlich verbreitert. Die Übergänge sind ganz verschwunden. Da die 3 m-Tiefenlinien fast durchweg mit dem Ufer gleichlaufen, so ist in dem Querschnitt überall bei M.W. eine Wassertiefe von 3 m und darüber vorhanden. Auch der im Jahre 1916 aufgenommene Tiefenplan zeigt ein ähnliches günstiges Bild.

Die Stromstrecke von der Landesgrenze bis zur Drewenzmündung, wo also nur eine Regelbreite von 300 m vorhanden ist, weist dieselben Mißstände hinsichtlich der Sandbänke, der Kolke, des Pendelns des Stromstriches und der Fehltiefen auf den Übergängen auf. Die Übelstände treten allerdings etwas gemäßigter auf, sie würden vielleicht noch geringer sein, wenn die Hochwasserquerschnitte auf dieser Strecke nicht so ungünstig wären. Die geringere Wassermenge kann dabei keine Rolle spielen, denn die Drewenz besitzt eine Wasserführung von nur 25 cbm/sek. bei M.W. Bemerkt sei ferner, daß die seinerzeit vorgenommene Einschränkung der Strombreite von 375 bis herunter auf 300 m — an den Hafeneinfahrten bzw. Fährstellen bei Thorn, Brahemünde, Culm, Neuenburg, Kurzebrack und Mewe —, die freilich nur auf kurzen Strecken vorhanden ist, nicht die beabsichtigte Wirkung gehabt hat, die Strömung an diesen Stellen erheblich zu verstärken und die Versandung der Hafeneinfahrten und Fährstellen zu verhindern. Die Tatsache also, daß die Weichsel weder bei einer Regelbreite von 375 m, noch einer solchen von 300 m nicht imstande ist, eine den Ansprüchen der Schiffahrt genügende Fahrrinne auszubilden, beweist, daß zu einem Vorbauen noch ein Umbauen des Querschnittes, und zwar hauptsächlich durch Umformung des Niedrigwasserbettes und eine günstige Linienführung treten muß. Drei sehr bezeichnende Querschnitte der Peilung 1916 von der 375 m breiten, sowie der 250 m breiten Stromstrecke sind in Abb. 3 bis 8 Bl. 15 beigefügt. Auf ihnen ist auch der bisher angestrebte Querschnitt dargestellt. An dieser Stelle sei zum Vergleich erwähnt, daß der Flächeninhalt des tatsächlich vorhandenen Abflußquerschnittes, wie er sich als Mittelwert aus einer großen Anzahl von Peilquerschnitten ergibt, für M.W. 1144 qm beträgt, während der Flächeninhalt des bisher angestrebten trapezförmigen Ausbauquerschnittes sich für den gleichen Wasserstand zu nur 1071 qm berechnet. Das Schlußergebnis der vorstehenden Ausführungen kann also dahin zusammengefaßt werden, daß die jetzt vorhandenen Nachteile der wandernden Sandbänke durch Niedrigwasserwerke in Verbindung mit einer entsprechenden Einschränkung beseitigt werden können. Für die Ausführung der unter M.N.W. anzuordnenden Kopfschwellen, auch Stromschwellen genannt, kann nur der an der Weichsel durchaus bewährte Sinkstückbau in Frage kommen. An der Oder, vielleicht auch an anderen Strömen, wird bisweilen für die Herstellung der Kopfschwellen folgende Bauweise angewendet: 4 bis 5 m lange und 12 cm starke Rundpfähle werden in der Weise ein-

gerammt, daß sie in der Richtung des Stromes etwa 1,5 m, quer zum Strome rd. 1 m voneinander zu stehen kommen. Im Schutz der Pfähle wird eine dünne Packwerklage, aus Vor- und Rücklage bestehend, in ganzer Länge des Bauwerks hergestellt, bewürstet und durch Aufbringen von Sand und Steinen auf die Flußsohle gesenkt. Nach Herstellung des Packwerks werden die Pfähle wieder ausgezogen. Wollte man diese Bauweise, wie neuerdings in den Fachschriften vorgeschlagen, auch an der Weichsel zur Anwendung bringen, so müßten die Pfähle viel stärker gewählt werden, weiter voneinander entfernt angeordnet und mit der Dampframme eingeschlagen werden, damit sie nicht aussändern und umkippen. Dadurch wird das spätere Ausziehen sehr erschwert. Bei so hergestellten Vorlagen müßte ein Wald von Pfählen in das Strombett gerammt werden. Welcher Stau dadurch erzeugt wird und welche Folgen das hat, kann man sich vorstellen, wenn man bedenkt, daß die Vorlage eine Verlängerung der Buhne werden soll, vor der häufig ein mächtiger Kolk aufzutreten pflegt. Das Schlagen der Pfähle durch die Steinpackung der Buhnenköpfe wird, falls es überhaupt gelingt, große Schwierigkeiten bereiten. Infolgedessen würde eine dauerhafte Verbindung der Vorlage mit dem Buhnenkopfe gerade dort, wo sie besonders fest sein muß, nicht erreicht werden. Die Stromsohle würde sich auch während des Baues der Vorlage vertiefen; immer größere Packwerkmassen würden erforderlich, der Bau wesentlich teurer werden, wenn man nicht vorzieht, die Sohle schleunigst mit Sinkstücken abzudecken. In diesem Falle ist es schon besser, gleich die ganze Vorlage aus Sinkstücken zu bauen; denn nur letztere schwere Bauweise gewährleistet nach den Erfahrungen an der Weichsel das feste Gefüge des Faschinenkörpers, welches erforderlich ist, um nicht nur eine dauerhafte Verbindung mit dem Buhnenkopfe zu erzielen, sondern auch der Kopfschwelle die erforderliche Widerstandsfähigkeit gegen Wasserdruck und vor allen Dingen gegen Eisstoß zu verleihen. Allerdings ist man hierdurch in der Wahl der Böschungsneigungen beschränkt, da man im Gegensatz zu der vorgenannten leichten Bauweise, bei der flachere Neigungen möglich sind, mit Sinkstücken genaue Unterwasserneigungen von nur 1:20 bis höchstens 1:25 herstellen kann. Solche Grenzneigungen genügen für den beabsichtigten Zweck indessen vollständig.

Zu steile Böschungen der Ausbauwerke erzeugen zwar an den Buhnenköpfen stellenweise Wirbelbewegungen und damit zusammenhängende Austiefungen der Sohle. Einen Einfluß auf die allgemeine Sandbewegung darf man ihnen jedoch nicht einräumen. Die Regelungswerke der Weichsel besitzen Böschungsverhältnisse von 1:5 bei den Querwerken, den Buhnen, und 1:3 bei den Längswerken, den Uferdeckwerken, und zwar sowohl in den „Geraden" als auch in den „Krümmungen". In den Geraden haben sich diese Neigungen durchaus bewährt. Auf der einbuchtenden Seite der Krümmung dürfte die Neigung der Buhnen von 1:5 aus baulichen Gründen beizuhalten, auf der ausbuchtenden Seite dagegen eine flachere Neigung am Platze sein, um die Schwerachse der Wassermassen mehr nach dem einbuchtenden Ufer zu verweisen und so die Ausbildung günstiger Tiefenverhältnisse zu unterstützen. An dem Auftreten der großen Kolke und der Entstehung der Sände tragen die zu steilen Böschungen der Strombauwerke sicherlich nicht die alleinige Schuld. Erwiesen wird diese Behauptung durch den Zustand der oberhalb und unterhalb des Barendter Deckwerks sowie vor dem Deckwerk Stromkilometer 195 bis 199 gelegenen Stromstrecke, die nach den Beobachtungen seit dem Jahre 1901 die einzige Stelle der Weichsel ist, an der die Übergänge, von ganz geringen Schwankungen abgesehen, ständig festgelegen haben, also nicht die sonst überall beobachtete Neigung zum „Pendeln" zeigen (Abb. 9 Bl. 19). Auch die Tiefen auf den Übergängen sind günstig gewesen. Das dürfte auf eine geeignete, an dieser Stelle der Natur des Stromes angepaßte Linienführung bei richtiger Breitenbemessung und günstiger Hochwasserführung zurückzuführen sein.

Unzweifelhaft besteht zwischen der Lage der Übergänge und der Linienführung des Stromes ein Zusammenhang, dem bei der Aufstellung eines allgemeinen Niedrigwasserregelungsentwurfs besondere Beachtung geschenkt werden muß. Die Stromstrecke km 195 bis 199 ist ein Beispiel dafür, welcher Wert einer ausreichenden Schlängelung mit richtigen Krümmungshalbmessern, bei der Zwischengerade von mehreren Kilometern Länge vermieden werden, für eine günstige Ausbildung der Fahrrinne beizumessen ist. Nur Krümmungshalbmesser, die zu der Regelbreite in dem richtigen Verhältnis stehen, an den durch Deckwerke geschützten Stromstrecken vielleicht sogar mit Übergangskurven zwischen den einzelnen Krümmungen, in Verbindung mit den oben besprochenen Bedingungen, bilden die sichere Gewähr für eine Fahrrinne, die hinsichtlich ihrer Lage und Tiefe allen Anforderungen der Schiffahrt gerecht wird.

III. Versuchsstrecken.

Bei der Bewegung des Wassers in natürlichen Gerinnen, bei deren Erforschung man doch nur einfache Verhältnisse zugrunde legen kann, treten so viele Umstände in verwickeltem Zusammenhange auf, daß man sie durch Rechnung restlos nicht erfassen kann. Es ist daher durchaus erforderlich, die unsicher bleibende Rechnung durch Beobachtungen am Strome auf ihre Richtigkeit hin zu prüfen. Der Ausbau einer hinreichend langen Versuchsstrecke, auf der der rechnerisch ermittelte Regelquerschnitt und die gewählte Linienführung erprobt wird, muß also den ersten notwendigen Schritt auf dem Wege zu einem weiteren feineren Ausbau der Weichsel für Schiffahrtzwecke bilden. Hier muß genau geprüft werden, was man dem Strome ohne Schaden für die Landeskultur zumuten kann.

Der Erfolg der einzelnen verschiedenen Bauweisen wird dann eingehend beobachtet und durch besonders genaue und häufige Peilungen festgestellt werden können, so daß nicht nur sichere Grundlagen für den Ausbau des ganzen Stromes auf Niedrigwasser gewonnen werden, sondern auch durch Versuche sich das bedeutend höhere Ausbauziel ermitteln lassen wird, welches der Weichsel ohne gewaltsamen Eingriff in die Natur des Stromes gesteckt werden kann. Bei der Wahl der Versuchsstrecke wird aber an dem altbewährten Grundsatze, der nicht genug betont werden kann, festzuhalten sein, daß ein vornehmlich für die Zwecke der Schiffahrt durchzuführender Niedrigwasserausbau nur dann von dauerndem Erfolg begleitet sein kann, wenn die Grundbedingungen dazu erfüllt, das heißt die Mittelwasser- und Hochwasserregelungsarbeiten zum Abschluß gelangt oder wenigstens

nahezu vollendet sind. Fallen dann sogar die Schwerachsen des Niedrig-, Mittel- und Hochwasserquerschnitts zusammen, so ist der vollkommenste Regelquerschnitt erreicht. Wie wichtig die Herstellung eines wenigstens annähernd vollkommenen Regelquerschnittes für einen Strom ist, kann man an der Weichsel an mehreren Stellen beobachten. Überall dort, wo der Hochwasserquerschnitt zu dem des Mittelwassers ungünstig liegt, pflegen sich bei Niedrigwasser regelmäßig schlechte Fahrwassertiefen einzustellen. Wenn irgend möglich, muß der Strom unterhalb der Versuchsstrecke, auf der sicherlich mehr Sandmassen als früher in Bewegung geraten werden, so beschaffen sein, daß er die ihm zugeführten Sandmassen ohne Schaden aufnehmen und fortführen kann. Das Zusammentreffen sämtlicher für eine vollkommene Versuchsstrecke zu stellenden Bedingungen ist an der Weichsel an keiner Stelle zu erwarten. Man wird sich also für die Versuchsstrecke einen Stromabschnitt mit möglichst fertiggestellter Hochwasserregelung zwischen der Drewenzmündung (km 10,5) und Pieckel (km 171) aussuchen müssen, wird aber auch zu überlegen haben, ob es nicht richtig ist, außerdem die schon mit 300 m Breite angelegte Strecke von der Drewenzmündung bis etwa 1 km unterhalb der polnisch-deutschen Grenze auszubauen. Der Ausbau ist zu empfehlen, weil er geringere Kosten verursacht und unterhalb der Drewenzmündung sich eine lange Krümmung anschließt, in der stets gute Tiefen zu sein pflegen. — Auch eine genaue Aufmessung der oben erwähnten Strecke bei Barendt, wo der Strom schon seit Jahren feste Übergänge besitzt, wird vorgenommen werden müssen, um daraus dem Strome die Bedingungen abzulauschen, unter denen er einen derartigen Zustand zu schaffen imstande ist.

Bei einem so wasserreichen Strome, wie die Weichsel es ist, erscheint eine bessere Schiffbarmachung dazu berufen, in der Zukunft für die wirtschaftliche Entwicklung des ganzen Ostens eine wichtige Rolle zu spielen. Die Niedrigwasserregelung der Weichsel wird daher sicherlich nach Friedensschluß bei den ständig wachsenden Anforderungen an die Schiffahrt eine Notwendigkeit werden, der sich die Staatsregierung nicht wird entziehen können. Auf das der Weichsel bisher fehlende Absatzgebiet wird infolge der durch den Krieg am Mittellaufe der Weichsel eingetretenen Umgestaltung der politischen Verhältnisse sicherlich zu rechnen sein. Durch das neue riesige und fruchtbare Hinterland, das zu seiner wirtschaftlichen Hebung und Erschließung auf billige Wasserverfrachtungen und den Zutritt zum Meere angewiesen ist und daher auf die Entwicklung der Weichsel als ihrer Hauptverkehrsader großen Wert legen wird, sind die Vorbedingungen für den Ausbau der preußischen Weichsel zu einer erstklassigen Schiffahrtstraße und für ein neues Aufblühen von Handel und Verkehr in den westpreußischen Weichselstädten gegeben, so daß mit der Inangriffnahme von Vorarbeiten für eine baldige bessere Schiffbarmachung der preußischen Weichsel nicht wird gezögert werden dürfen.

Buchdruckerei des Waisenhauses in Halle a. d. S.